

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Návrh sledování parametrů kvality zaoblení ostří při výrobě VBD

Design of Tracking Quality Parameters of
Cutting Edge Preparation During Cutting
Inserts Production

Student:

Bc. Veronika Kudláčková

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Ostrava 2019

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Veronika Kudláčková**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2303T002 Strojírenská technologie**
Téma: **Návrh sledování parametrů kvality zaoblení ostří při výrobě VBD**
Design of Tracking Quality Parameters of Cutting Edge Preparation
During Cutting Inserts Production
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Zaoblení řezného nástroje a jeho význam.
3. Návrh metodiky měření zkoumaných parametrů.
4. Zpracování výsledků a vyhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu – disertační práce*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava Fakulta strojní, 2005. 101 s.
WHITNEY, E. Dow. *Ceramics Cutting Tools – Materials, Development and Performance*. Gainesville, Florida : Noyes Publication New Jersey, 1994, 350 p. ISBN 0-8155-1355-0.
ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019


doc. Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2019



.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědoma, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019



.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Veronika Kudláčková

Adresa trvalého pobytu autora práce: Březná 11, 789 91 Štítý

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KUDLÁČKOVÁ, V: Návrh sledování parametrů kvality zaoblení ostří při výrově VBD: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2019, 50 s. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá měřením parametrů kvality na ostří VBD. První část práce popisuje celkovou mikrogeometrii ostří řezného nástroje. Další část práce je zaměřena na možnosti mechanické úpravy ostří. Experimentální část diplomové práce byla realizována ve společnosti Dormer Pramet, s.r.o. a pozornost byla soustředěna na měření jednotlivých parametrů na zaobleném ostří: drsnost, tvar ostří a jeho velikost. Hodnoty byly měřeny na dvou zařízeních Mahr MarSurf XCR 20 a Alicona InfiniteFocus G5, které byly následně vyhodnoceny a parametry velikosti a tvaru zaobleného ostří porovnány.

KUDLÁČKOVÁ. V: Design of Tracking Quality Parameters of Cutting Edge Preparation During Cutting Inserts Production. Diploma Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly and Engineering Metrology, 2019, 50 p. Thesis head: Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

This diploma work deals with design of tracking quality parameters of cutting edge preparation during cutting inserts production of VBD blades. The first part of the work describes the overall microgeometry of the blades of this cutting tool. The next part focusses on the possibilities mechanical preparations of tools cutting edge. The experimental part of this work was carried out in Dormer Pramet, s.r.o. and attention was concentrated on measuring the individual parameters of a rounded edge: roughness, shape of edge, and size. These values were measured for two devices, the Mahr MarSurf XCR 20 and the Alicona InfiniteFocus G5 which were then evaluated and the values for size and rounded blade shape were compared.

Obsah

Obsah.....	6
SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	7
Úvod.....	8
1. Zaoblení řezného nástroje a jeho význam	9
1.1. Co je to zaoblení ostří	9
1.2. Technologie úprav zaoblení ostří.....	11
1.2.3. Vlečné omílání	15
1.2.4. Otryskávání vodním paprskem s abrazivem	16
1.2.5. Pískování (mikropískování)	17
1.3. Hodnotící ukazatele ostří	18
2. Návrh metodiky měření zkoumaných parametrů	21
2.1. Sledované vzorky.....	21
2.2. Měření parametrů zaoblení ostří VBD.....	22
2.2.1. Dotyková metoda měření	22
2.2.2. Optická (bezdotyková) metoda měření	24
3. Zpracování výsledků a vyhodnocení.....	28
3.1. Vyhodnocení parametrů zaoblení ostří	28
3.2. Porovnání naměřených hodnot u optické a dotykové metody	41
Závěr.....	44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM PŘÍLOH	50

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Symbol	Význam	Jednotka
B5	vzorky upravené technologií leštění	[-]
G5	vzorky upravené technologií otryskávání	[-]
K	ukazatel symetrie břitu	[-]
R	poloměr zaoblení břitu nástroje	[μm]
R'	poloměr zaoblení hrotu snímače	[μm]
Ra	průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu	[μm]
Rz	největší výška profilu	[μm]
S5	vzorky upravené technologií kartáčování	[-]
S_α	velikost zaoblení na hřbetní ploše	[μm]
S_γ	velikost zaoblení na čelní ploše	[μm]
\bar{S}	střední velikost zaoblení ostří	[μm]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
a_e	přísuv	[mm]
l_r	základní délka ve směru osy x	[μm]
n	počet měření	[-]
v_c	řezná rychlost broušení	[m/s]
v_f	posuvová rychlost	[mm/min]
x_i	jednotlivé naměřené hodnoty x	[-]
\bar{x}	výběrový průměr	[-]
Δr	parametr určující tvar zaoblení ostří	[-]
β_o	úhel břitu nástroje v ortogonální rovině	[°]
φ	úhel sklonu úpravy ostří	[°]
λ_c	filtr profilu	[μm]

Úvod

V současnosti je v každé průmyslové výrobě kladen důraz na zvyšování produktivity a zlepšování spolehlivosti výrobního procesu. Ovlivnit tyto požadavky je možné řezivostí nástroje. Řezivost nástroje můžeme charakterizovat jako vlastnost, která celkově ovlivňuje výkonnost řezného nástroje. Jedním z těchto ovlivňujících faktorů je mikrogeometrie řezného břitu. K nejpoužívanějším technologiím k úpravě mikrogeometrie řezného břitu patří pískování, kartáčování, vlečné omílání, magnetické leštění a laserové obrábění. Pro každou z těchto uvedených metod úprav je definována oblast aplikace a je charakterizována svou produktivitou, opakovatelností a nestálostí v rámci velikosti a tvaru požadovaných úprav. Výsledná mikrogeometrie řezného břitu má vliv na řezné síly, rozložení tepla a z toho plynoucí opotřebení nástroje. S tím úzce souvisí trvanlivost, struktura obrobeného povrchu, zbytková napětí a ustálení řezného procesu.^{1, 2, 6}

Za pomoci některých z výše uvedených úprav lze vytvořit vhodný tvar ostří, který je ve formě zaoblení. Zaoblení ostří má kladný vliv na snížení opotřebení a tím je dosaženo vyšší trvanlivosti řezného nástroje. Vývoj v oblasti řezných nástrojů se v poslední době soustředil především na oblast materiálů. V současné době jsou však výrobci řezných nástrojů schopni vyrábět širokou škálu nástrojů se speciální mikrogeometrií nástroje.²

Mezi hlavní směry výzkumu a vývoje v této oblasti patří volba vhodné mikrogeometrie řezného břitu, která stále představuje problém. Obvykle se pro úpravu řezného břitu používají abrazivní a termické technologie úprav. Tyto úpravy jsou používány jak před, tak po depozici nástrojů. Před-depoziční úpravy jsou používány především k získání souvislé geometrie, kdy jsou z řezného břitu odstraněny nedostatky vzniklé broušením (otřepy a mikro-vylomeniny). Je prokázáno, že 10 – 14% nákladů na výrobu je právě na ostří.^{1, 2}

Vypracování diplomové práce mi bylo umožněno společností Dormer Pramet s.r.o., které se specializuje na výrobu nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu pro různé obráběcí operace, zejména pro frézování, soustružení, závitování a vrtání. Vyměnitelné břitové destičky zde prochází celým výrobním procesem a to od lisování substrátu, slinování, broušení, úpravu břitu nástroje až po samotné povlakování.

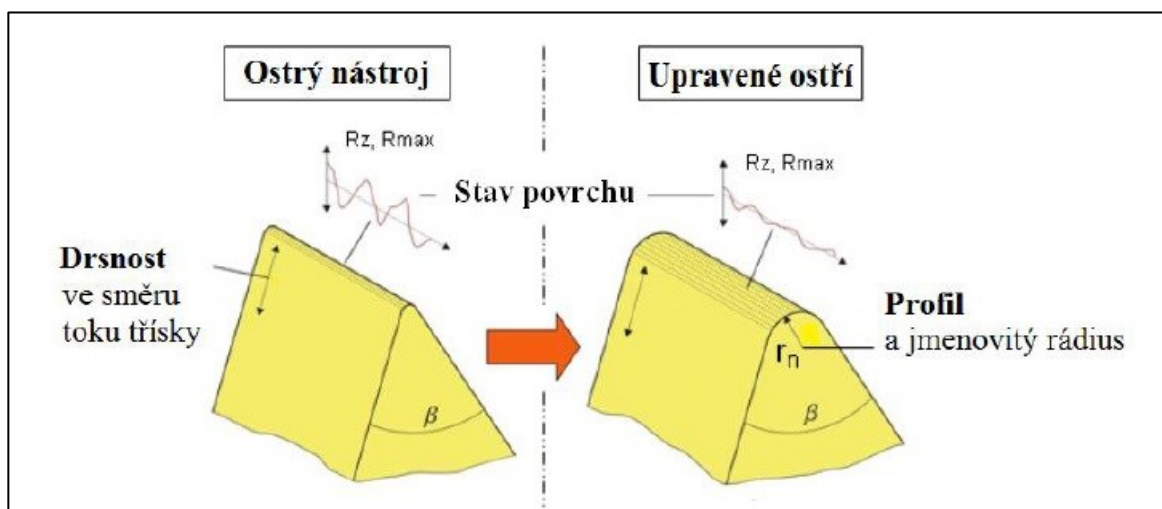
Cílem diplomové práce bylo sledování parametrů kvality zaoblení ostří při výrobě VBD. V experimentální části práce jsou nejprve popsány sledované vzorky, metody měření parametrů zaoblení ostří VBD. Měření parametrů bylo provedeno ve dvou místech VBD. Následně jsou tyto parametry vyhodnoceny pro obě metody měření. V závěru práce jsou shrnuty výsledky pro všechny sledované parametry kvality zaobleného ostří VBD.

1. Zaoblení řezného nástroje a jeho význam

Hlavní úlohou geometrie řezného nástroje je utvářet třísky, tak aby byl jejich odvod z obrobku co nejjednodušší, přičemž odvod třísky je ovlivněn zejména základní geometrií řezného nástroje, kterou lze rozdělit z hlediska velikosti na část makrogeometrie, definující výchozí profil nástroje, vyostření a nástrojové úhly. V případě, mikrogeometrie nástroje si lze představit útvary, vyskytující se přímo na řezné ostří. Především se jedná o zakřivení povrchu břitu vlivem drsnosti po broušení a o defekty vzniklé po broušení. U materiálů využívaných pro výrobu řezných nástrojů, nelze vybrousit dokonale ostré ostří. Nepřesnosti, které lze změřit za pomoci speciálních přístrojů, a to buď dotykovými, nebo bezdotykovými metodami, mají významný vliv na celkovou řezivost nástroje.^{6, 9, 10}

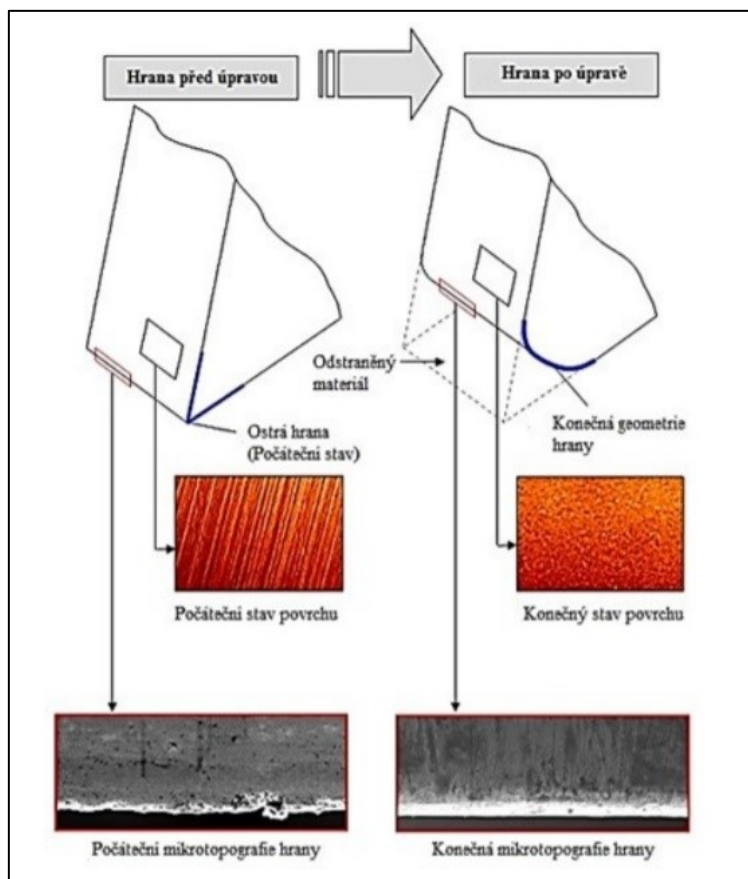
1.1. Co je to zaoblení ostří

Během výrobního procesu vyměnitelných břitových destiček (dále jen VBD), zejména při broušení, vznikají na ostří nástroje povrchové vady a různé mikro defekty. Tyto vady negativně ovlivňují v první řadě životnost nástroje a kvalitu obrobené plochy. Dále mají značný vliv na nepravidelný výkon nástroje a vedou k jeho předčasnému opotřebení. Z tohoto důvodu se zavádějí úpravy mikrogeometrie ostří řezného nástroje, které ostří zaoblí a sníží jeho drsnost obrázek 1. 1. Zaoblené ostří způsobuje zvýšení řezných sil, ovlivňuje celistvost obráběného povrchu (drsnost, tuhost a zbytkové napětí) a odolnost nástroje proti opotřebení. Tyto změny během obrábění souvisejí se změnou velikosti plastických deformací, zejména terciálních plastických deformací.²



Obrázek 1. 1 Charakteristika úpravy ostří¹

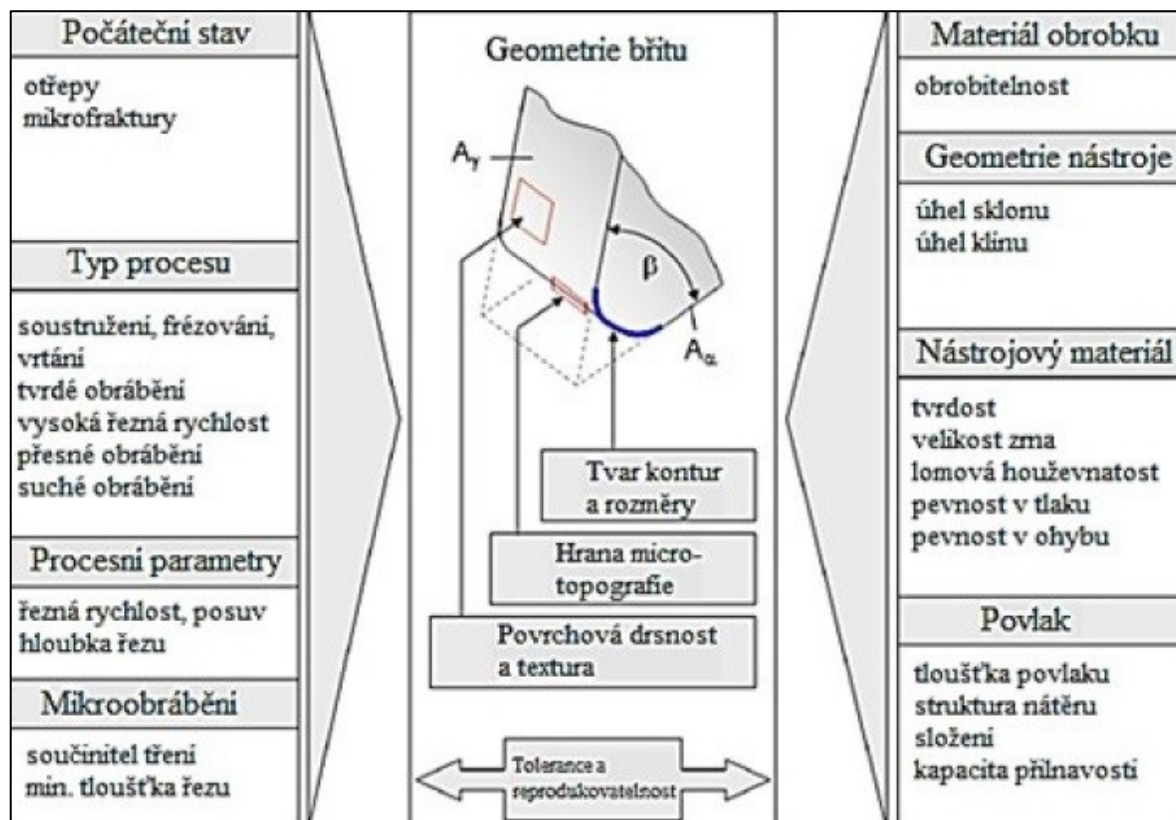
Po broušení není skutečné ostří nástroje dokonale ostré a je charakterizováno malým zaoblením s defekty, jichž velikost se u slinutých karbidů pohybuje do 5 μm (v závislosti na parametrech broušení může zaoblení dosahovat i větších hodnot). C. J. Rodríguez ve své publikaci uvádí obrázek 1. 2, který znázorňuje rozdíl mezi ostřím před úpravu, na kterém jsou zobrazeny nerovnosti po broušení a po samotné úpravě mikrogeometrie ostří. ¹



Obrázek 1. 2 Úprava zaoblení ostří VBD ¹

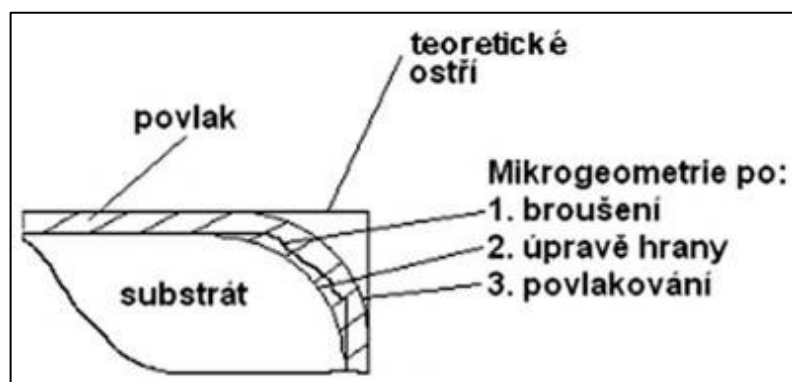
Aby byla zajištěna dostatečná geometrie ostří a příprava pro konkrétní aplikaci, je nutné zvážit následující hlediska: ¹

- počáteční stav řezné hrany,
- parametry a typ obráběcího procesu,
- aspekty obrábění,
- materiál obrobku,
- nástrojový materiál (podklad),
- makrogeometrie nástroje,
- požadovaného povlaku.

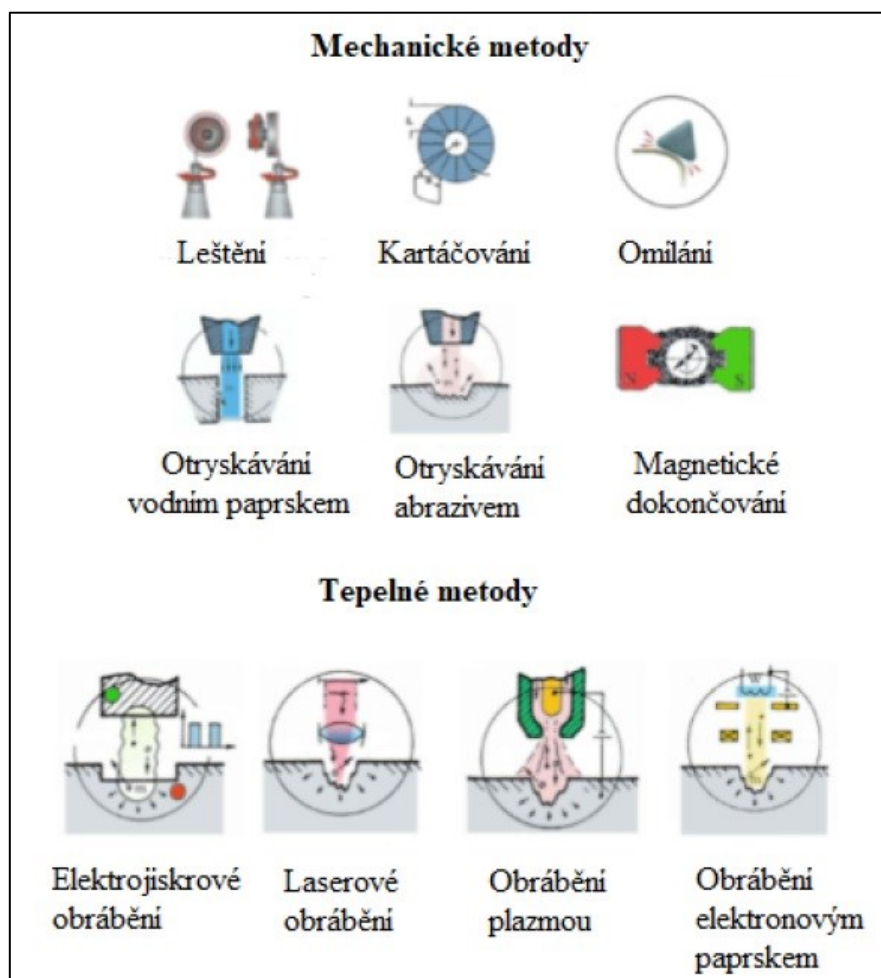
Obrázek 1. 3 Parametry ovlivňující ostří řezného nástroje¹²

1.2. Technologie úprav zaoblení ostří

Podle typu a použití řezného nástroje se volí tvar bříty. Z důvodu stále rostoucího požadavku na homogenitu a opakovatelnost se používá zaoblení ostří nebo fazetky na ostří. V článku Úpravy bříty a povrchů řezných nástroje prof. Ivan Mrkvica a Ing. Václav Moravec představují základní tvary ostří vzniklé po broušení nebo po úpravě řezného ostří. Tvorba řezného ostří je výsledkem několika na sebe navazujících kroků při výrobě nástroje. Příkladem je broušení a povlakování, u kterého je nutné zohlednit nanesení povlakové vrstvy. Při nanesení povlakové vrstvy se změní poloměr ostří.³

Obrázek 1. 4 Schéma bříty nástroje³

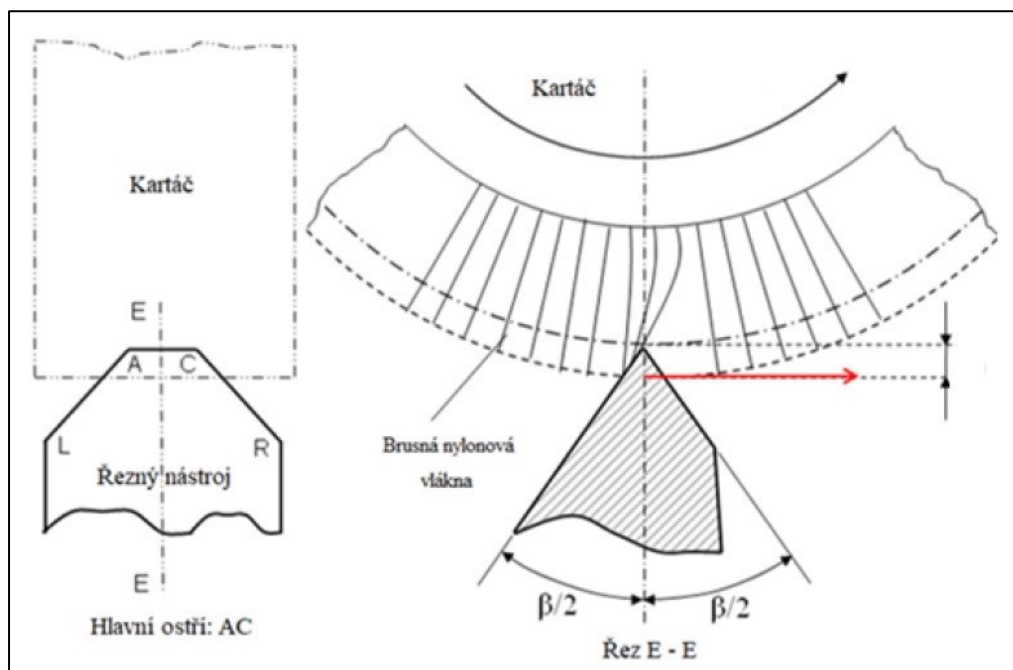
Úprava hrany a povrchu se provádí různými technologiemi, které lze rozdělit na mechanické a tepelné úpravy povrchu. Podstata metod pro úpravu povrchu spočívá ve vzájemném působení abrazivních částic na povrchu obrobku, které je způsobeno vhodným médiem (vzduch, pasta, pojivo, vlákno nebo magnet). Požadované zaoblení hran se vytvoří optimálními časy a rychlostí abraziva nebo obrobku.¹



Obrázek 1. 5 Rozdělení technologií úpravy ostří VBD¹

1.2.1. Kartáčování

Za pomoci rotujícího nástroje – kartáče probíhá úprava mikrogeometrie řezného břitů. Tyto kartáče jsou vyrobeny z nylonových vláken, které obsahují částice tvrdého abraziva. Vláken se vyrábí široká škála průměrů. Vlákn většího průměru zároveň obsahují větší abrazivní částice, a tím je vyšší i úběr materiálu. Větší úběr materiálu má za následek zvýšenou drsnost. Opakem jsou kartáče malých průměrů, u kterých úběr materiálu není tak vysoký, ale je zde snížena drsnost.²



Obrázek 1. 6 Umístění brusného kartáče a řezného nástroje ⁴

Mezi důležité procesní parametry patří rychlost kartáčování v_c [m/s], přísuv a_e [mm], posuvová rychlost v_f [mm/min], čas [s] a počet opakování. ²

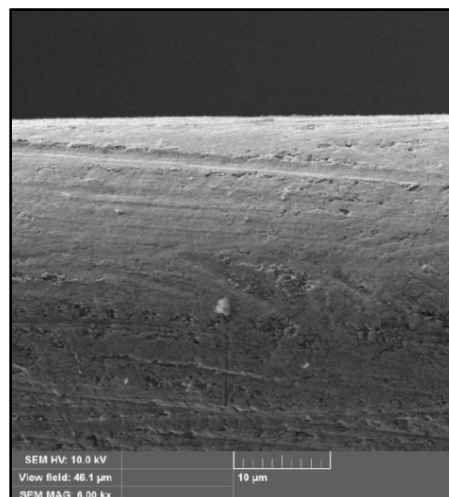
Nesprávně nastavené parametry kartáčování mohou způsobit: ²

- vznik nesprávného tvaru ostří, které nastává v případě vysokých hodnot přísuvu, které způsobí tzv. „zploštění“ profilu vyrobeného ostří.
- znehodnocení brusného kartáče (poškození vláken), které je zaviněno nastavením nízkého přísuvu, který znamená menší objem odebraného materiálu z ostří. Z toho vyplývá navýšení času kartáčování a vyšší procesní teploty.

Tuto technologii lze řadit mezi technologie velice produktivní a lze dosáhnout zaoblení ostří nástroje až 100 μm . Velikost zaoblení je závislé na hrubosti kartáče a na době setrvání vlákna na nástroji. ²



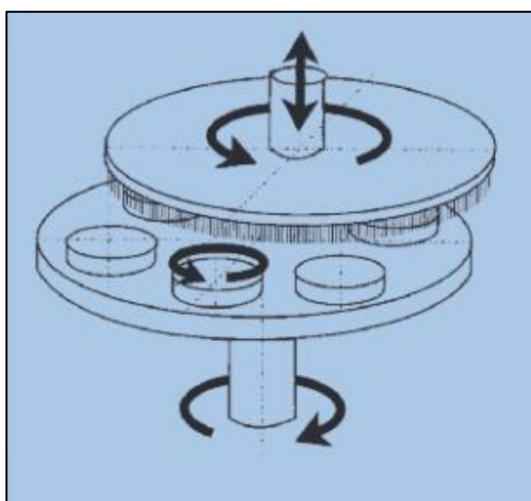
Obrázek 1. 8 Princip kartáčování¹⁹



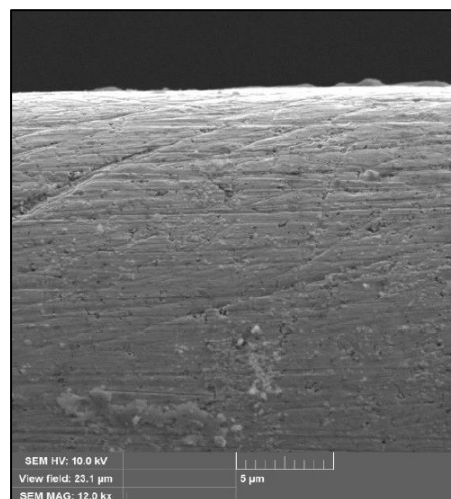
Obrázek 1. 7 Detail zaobleného ostří VBD metodou kartáčování¹⁹

1.2.2. Leštění

Jedná se o metodu úpravy ostří nástroje, kde je ostří upravováno prostřednictvím kartáče s polymerními vlákny, na které je nanesena brusná pasta obsahující diamantové částice o velikosti 5 – 8 µm. Princip technologie leštění je vysvětlen na obrázek 1.9. Během procesu leštění jsou VBD umístěny do přípravků, které jsou upnuty v planetově otočném stole. Během vzájemného rotačního pohybu leštícího kartáče a stolu, které nejsou v totožné ose, dochází ke kontaktu brusné pasty a kartáčových vláken s břitem nástroje. Výsledkem je potom rovnoměrné zaoblené ostří. Výhodou leštění je možnost vytvořit jak zaoblení ostří nástroje tak i vysokého lesku povrchu a jakosti. Při procesu leštění nevznikají na povrchu rýhy ani jiné typy nerovností.



Obrázek 1. 9 Princip leštění¹⁹

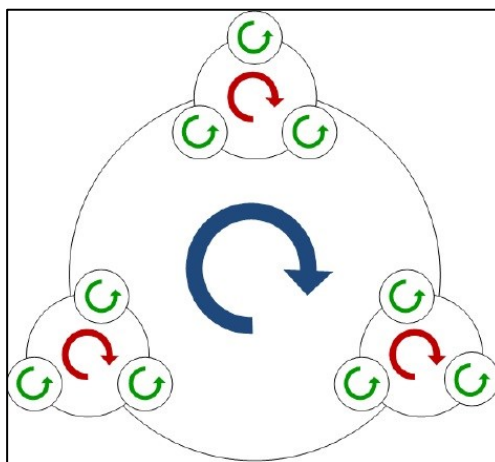


Obrázek 1. 10 Detail zaobleného ostří VBD metodou leštění¹⁹

1.2.3. Vlečné omílání

Při vlečném omílání jsou VBD upnuty do speciálního přípravku a vlečeny abrazivním médiem za současného rotačního pohybu okolo vlastní osy. Nástroje se pohybují po planetární dráze, která zajišťuje neustálý kontakt všech ploch na nástroji s procesním médiem a následně jsou ponořeny do omílacího média. Tyto média jsou především z přírodních materiálů. ^{4, 7, 8, 17}

Tato technologie umožňuje jak zaoblení ostří nástroje tak i vysoce leštící účinek. Z toho důvodu lze rozdělit abrazivní média na brousící a leštící. Se stoupající zrnitostí média roste jeho brusný účinek. Čím zrnitost klesá, tím se zvyšuje leštící účinek. Mezi nejpoužívanější média patří granuláty, které jsou různých tvarů a velikostí. K vytvoření velmi kvalitních povrchů se často k abrazivním médiím přidává prášek karbidu křemíku (SiC) nebo leštící pasta. ^{2, 8}



Obrázek 1. 11 Schéma rotačních pohybů stroje ⁴

V procesu vlečného omílání patří mezi důležité parametry procesní čas, rychlost, ponoření nástrojů do abrazivního média a samotné abrazivní médium. Tyto proměnné parametry lze ovlivnit tak, aby byl celý proces opakovatelný, což je jedna z výhod této technologie. Mezi ovlivňující parametry se řadí:

- hloubka ponoření nástroje do abrazivního média. Čím jsou zrna procesního média těžší, tím se statický tlak zvyšuje. Následek zvýšeného statického tlaku je větší poloměr ostří.
- rychlost. Ovlivňuje velikost r_n , intenzitu a rovnoměrnost omílání. Je dáno, že vyšší rychlost má za následek rychlejší omílání zejména namáhaných hran. Vysoká rychlost nástroje či obrobku vůči médiu nemusí umožnit dostatečné proniknutí média do všech míst obrobku.

- procesní čas. Ovlivňuje výslednou velikost zaoblení ostří a stav povrchu. Omílací časy se pohybují od několika málo sekund až po desítky minut.^{2,7}

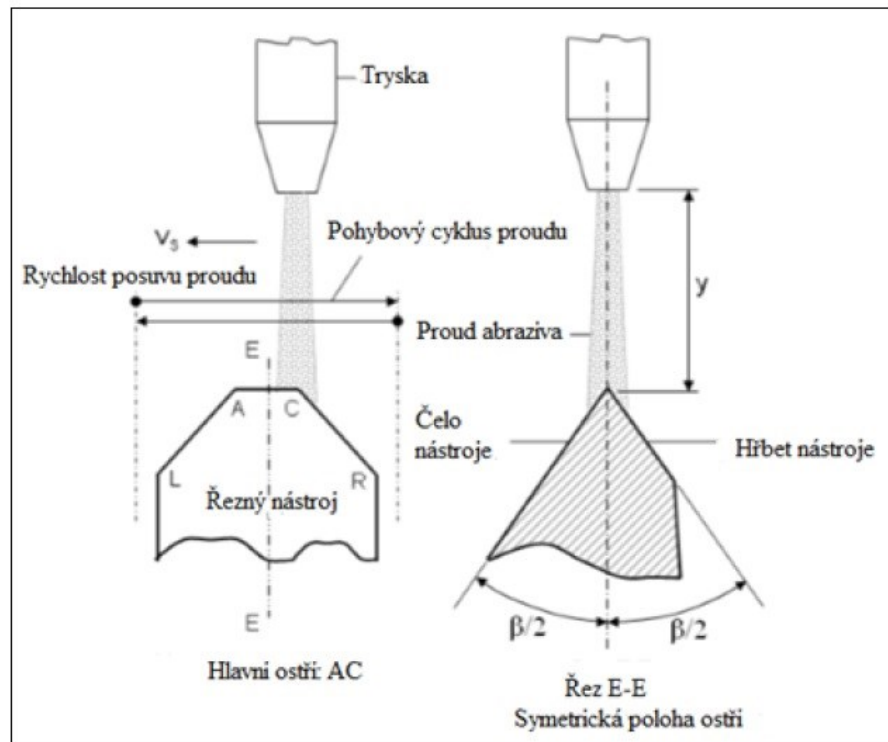


Obrázek 1. 12 Typy médií pro vlečné omílání²⁰

1.2.4. Otryskávání vodním paprskem s abrazivem

Tato technologie se řadí mezi nejpoužívanější technologie pro úpravu ostří nástroje. Na ostří nástroje působí pod vysokým tlakem směs vody s abrazivními částicemi o průměru 10 – 50 μm a tím dojde k zaoblení. Poměr mezi těmito složkami je 7:1 a 10:1, kde větší část tvoří voda. Obrázek 1.13 ukazuje podstatu technologie. V čerpadle, ve kterém prochází voda, dojde ke smíchání s abrazivem. Nejčastěji používaným abrazivem je oxid hlinitý nebo oxid křemitý. Dále proud směsi prochází přes trysku a pod tlakem 4 – 6 MPa dopadá na ostří nástroje rychlostí 150 až 300 m/s. Nejdůležitějším krokem u této technologii je správné nastavení ostří nástroje proti trysce. Správné nastavení této polohy ovlivňuje výsledný tvar a velikost zaoblení ostří. Faktory ovlivňující výslednou mikrogeometrii jsou vzdálenost řezného břitu od trysky, rychlost pohybu nástroje pod vodním paprskem, celkový čas opracování a volba správného abraziva. Díky správné volbě abraziva se dosahuje efektivní úpravy ostří během krátkých procesních časů.^{1,4}

Otryskávání je velice produktivní technologie zaoblení ostří, u níž lze dosáhnout nízké drsnosti vodou, která způsobuje tlumící účinek abraziva. Mezi výhody použití technologie otryskávání lze zařadit minimální silové působení na ostří, dále pak zamezení vzniku neekologických zplodin. Abraziva patří mezi netoxické látky, které se po oddělení od vody mohou dále použít. Nevýhodou otryskávání je ucpávání trysek při vyšší intenzitě používání. Na stěnách trysek se hromadí směs vody s abrazivem a tím dojde k postupnému zmenšení průměru trysky až k úplnému ucpání.^{1,4}

Obrázek 1. 13 Princip otryskávání vodním paprskem s abrazivem ¹

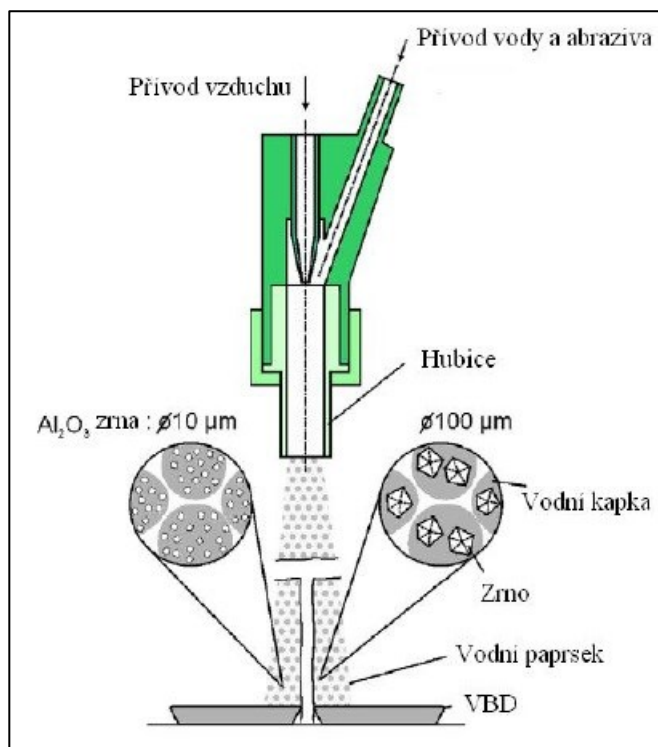
1.2.5. Pískování (mikropískování)

Pískování, které je často nazývané tryskáním, kdy je úprava ostří provedena pomocí abrazivních částic, které jsou unášeny vzduchem nebo vodou. Podle použitého procesního média rozlišujeme suché a mokré pískování. Pískování lze považovat za nízkonákladový proces úpravy ostří, který má velmi dobrý vliv na spolehlivost ostří. Při mokřém pískování je abrazivní médium ve vířivé komoře smícháno s vodou a následně akcelerováno skrze trysku směrem k ostří nástroje. Náraz směsi na předem definované místo nástroje vede k vytvoření mikro-trísek a k lokální deformaci. ^{2,21}

Celistvost upraveného ostří během procesu pískování lze ovlivnit nastavením vybraných parametrů např. tlak – má přímý vliv na objem odebraného materiálu z řezného břitů. Při vyšším tlaku je kinetická energie abrazivních zrn vysoká a vede k vyšším hodnotám r_n . Úhel tryskání z velké části ovlivňuje množství materiálu odebraného z hřbetu nebo čela nástroje, tj. má přímý vliv na S_α a S_γ . ²

Mezi další parametry, které mohou ovlivnit proces pískování:²

- vzdálenost nástroje od trysky,
- geometrie a úhel trysky,
- čas tryskání,
- tvar a materiál abrazivních zrn.



Obrázek 1. 14 Princip mokrého pískování⁴

Dalšími ovlivňujícími parametry jsou: vzdálenost trysky od nástroje, úhel naklonění trysky, geometrie trysky, čas tryskání, ale také materiál, velikost a tvar zrn. Schematický přehled výše vyjmenovaných ovlivňujících parametrů a jejich vliv na objem odebraného materiálu z řezného břitu technologií mokrého tryskání je znázorněn obrázkem 1. 14.²¹

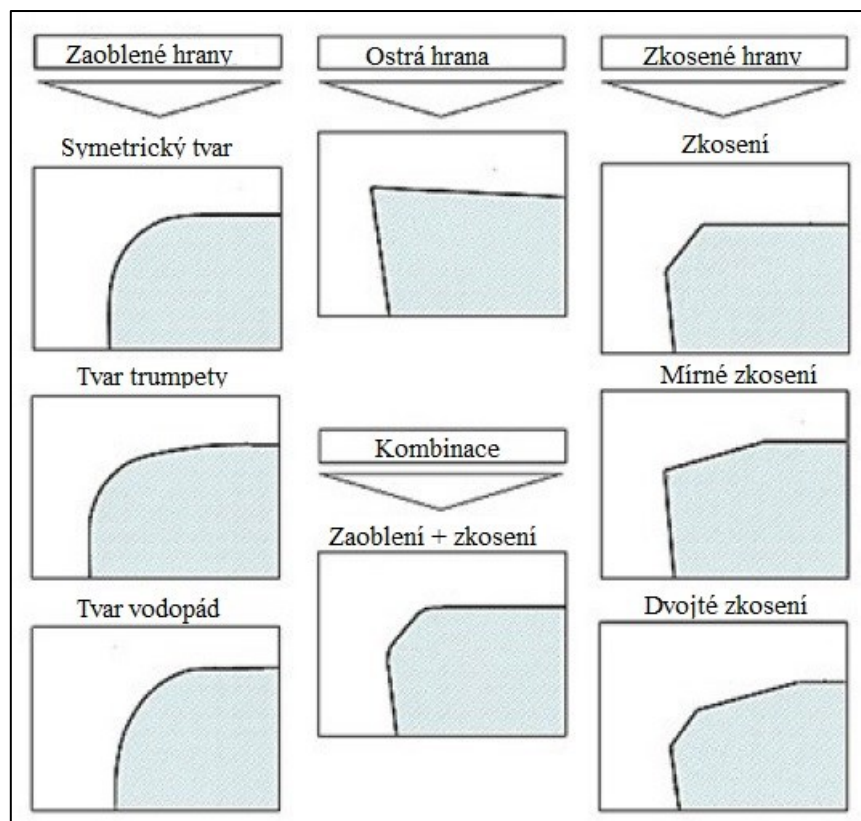
1.3. Hodnotící ukazatele ostří

Tvar ostří

Obecně lze popsat tři typy mikrogeometrie nástroje – ostrá, zkosená, zaoblená nebo lze použít kombinaci zaoblení a zkosení. Podle druhu obráběcí aplikace a řezného materiálu se volí tvar břitu nástroje. Běžnou aplikací zaoblených ostří bývá dokončování, polo-dokončovací obrábění, přesné obrábění a mikroobrábění. Zkosené ostří jsou často používány u tvrdého soustružení, těžkého obrábění nahrubo a přerušovaného obrábění.¹

Ostrý břit je definován průsečíkem čelní plochy nástroje S_γ a plochou hřbetu S_α . Není vhodný pro většinu obráběcích aplikací vzhledem k jeho nižší stabilitě vůči mechanickým zatížením ve srovnání se zaobleným nebo zkoseným tvarem. Jako první přichází do kontaktu s obráběným materiálem ostří nástroje a pokud je břit ostrý může snadno dojít k vyštipování částeczek materiálu z nástroje a tím může dojít k prudkému snížení jeho trvanlivosti. Proto se

tento negativní vliv eliminuje právě úpravami ostří, které zvyšují životnost nástroje až několikanásobně.¹



Obrázek 1. 15 Tvary upraveného ostří VBD¹

Ukazatel symetrie K

Metodu popisu upraveného řezného břitu představili ve své práci Denkena a kolektiv, která je založena na čtyřech základních parametrech. Mezi tyto parametry patří: S_α a S_γ , Δr , φ , a to pro symetrické i nesymetricky upravené ostří. Symetrii profilu ostří vyjadřuje K faktor, který je bezrozměrný. Vyjadřuje směr spádu profilu směrem k čelu ($K > 1$) nebo k hřbetu ($K < 1$).^{1, 11, 12}

K faktor vyjadřuje vztah:¹¹

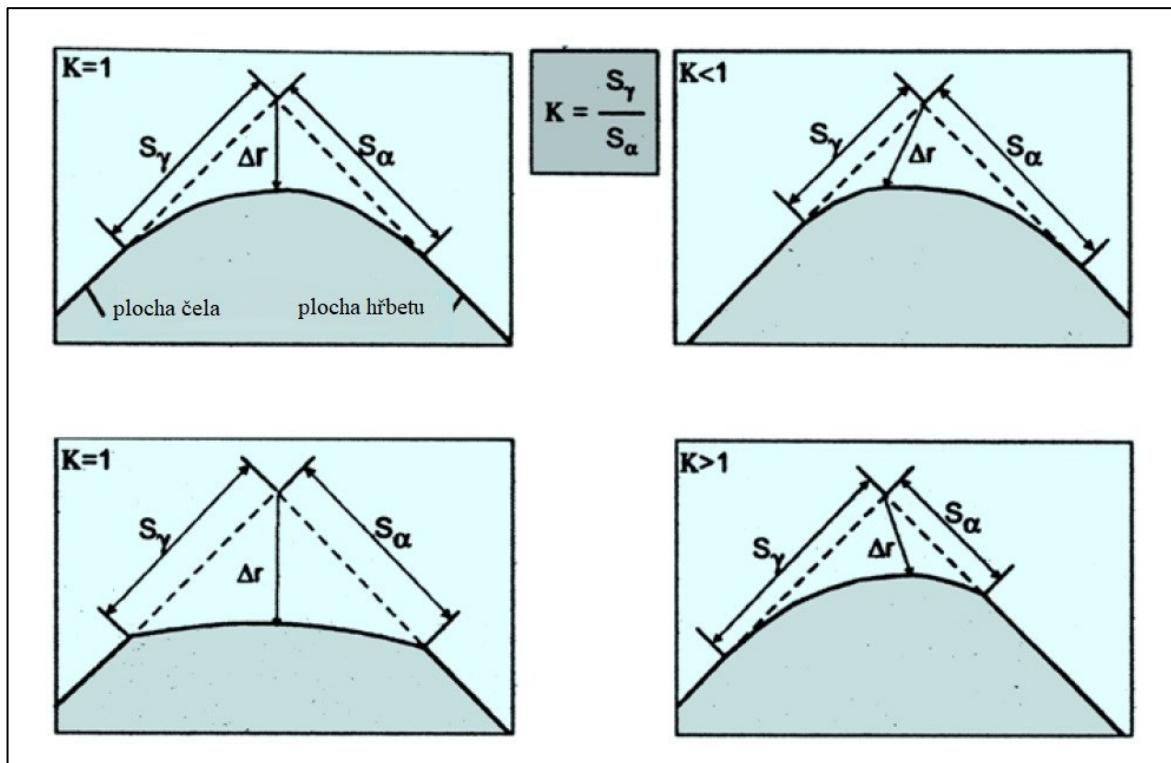
$$K = \frac{S_\gamma}{S_\alpha} [-] \quad (1.1)$$

Symetrický rádius ostří je dán střední velikostí zaoblení břitu řezného nástroje - aritmetický průměr hodnot S_α a S_γ :¹¹

$$\bar{S} = \frac{(S_\gamma + S_\alpha)}{2} [\mu m] \quad (1.2)$$

Tímto faktorem lze vyjádřit spád profilu, kde mohou nastat tři stavy: ²²

- a) $K = 1$ – jedná se o symetrický rádius,
- b) $K < 1$ – jedná se o nesymetrický rádius směrem k ploše čela,
- c) $K > 1$ – jedná se o nesymetrický rádius směrem k ploše hřbetu.



Obrázek 1. 16 Rozlišení symetrie profilu K ¹¹

Drsnost ostří

Drsnost povrchu lze definovat jako soubor nerovností povrchu s relativně malými vzdálenostmi, které vznikají po jakékoliv technologické úpravě povrchu. Zařazením některé z výše vyjmenovaných technologií úprav ostří lze dosáhnou úběru materiálu a tím snížení drsnosti ostří i jeho nejbližšího okolí. Účel technologií je úběr materiálu za co nejkratší čas v co největší hloubce a současně s co nejnížší drsností povrchu. ^{4, 18}

Pro sledování parametrů drsnosti se často využívá dle normy ČSN EN ISO 4287 střední aritmetická úchylka R_a , která vyjadřuje aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r . ²³

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx [\mu m] \quad (1.3)$$

2. Návrh metodiky měření zkoumaných parametrů

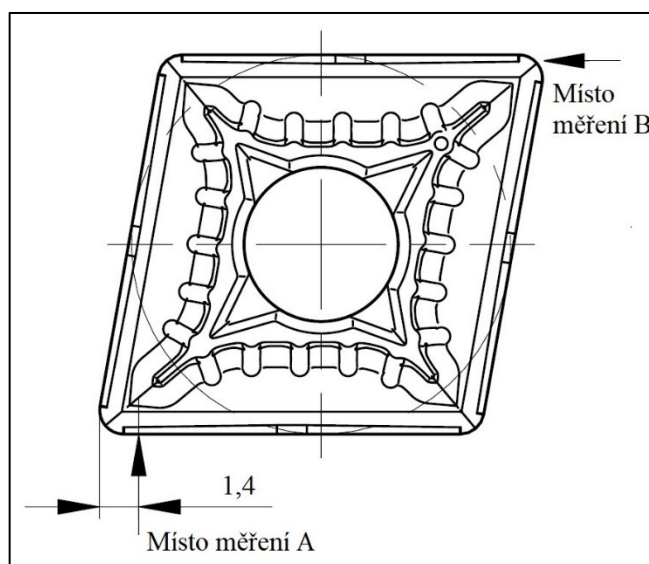
Experimentální část práce se zabývala sledováním parametrů kvality zaoblení ostří při výrobě VBD. Pozornost byla věnována velikosti zaoblení ostří, tvaru ostří a jeho drsnosti povrchu VBD. Pro vyhodnocení byly vybrány vyměnitelné čtyřhranné oboustranné břitové destičky, které byly vyrobené se zaoblením $50 \pm 7 \mu\text{m}$.

Pro úpravu ostří byly použity technologie, jejichž princip byl popsán v kapitole výše:

- kartáčování (vzorky S5),
- leštění (vzorky B5),
- otryskávání vodním paprskem s abrazivem (vzorky G5).

2.1. Sledované vzorky

Pro sledování parametrů bylo vybráno z každé technologie 8 vzorků, které byly očíslovány č. 1 - 8 a uloženy do krabiček a ty byly následně popsány, jakou technologií bylo zaoblené ostří vyrobeno (S5, B5, G5). Při výrobě byly na každé VBD vyraženy tečky pro zachování pořadí měření. Označení vzorků je velmi důležité pro měření a konečné vyhodnocení.



Obrázek 2. 1 Měřená místa parametrů zaoblení ostří VBD

Pro experiment musely být voleny vzorky s ohledem na to, aby zaoblení mohlo být zhotoveno všemi výrobními technologiemi a to z toho důvodu, že každá technologie je omezena pro úpravu určitého typu VBD. Z toho důvodu byly na vzorky kladeny následující kritéria:

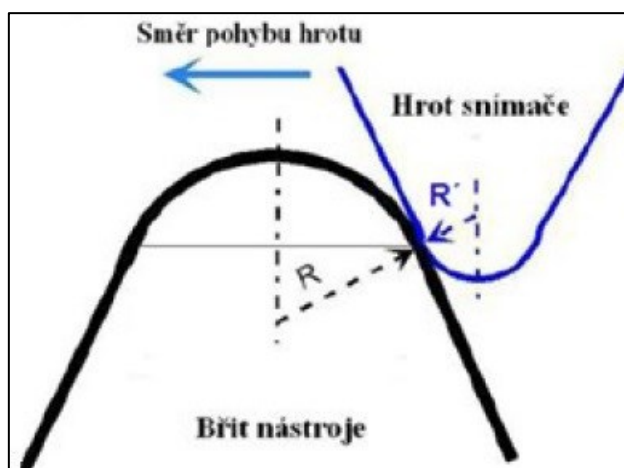
- Ostří VBD u měřených vzorků musí být v jedné úrovni, aby došlo rovnoměrnému zaoblení ostří nástroje. Tento parametr eliminuje technologii kartáčování.
- Měřené vzorky VBD musely obsahovat otvor pro upnutí do přípravku při použití technologie otryskávání proudem vody s abrazivem, kde musí být VBD upnutý v přípravku za otvor.

2.2. Měření parametrů zaoblení ostří VBD

Důležitým faktorem při úpravách mikrogeometrie ostří řezného nástroje je zaručit opakovatelnost výroby, což znamená zajistit stejné parametry ostří pro všechny vyráběné řezné nástroje. Vlivem odlišných vstupních podmínek dochází k vytvoření odlišné mikrogeometrie a u řezného nástroje může dojít k neschopnosti správně a efektivně odebírat třísku. Z tohoto důvodu je důležité správně měřit parametry ostří řezného nástroje, které ovlivňují proces obrábění. Pro měření parametrů ostří se využívají metody dotykové a bezdotykové. Tyto metody se odlišují ve způsobu snímání.¹³

2.2.1. Dotyková metoda měření

Princip dotykové metody spočívá ve snímání povrchu nástroje za pomoci speciálního ramínka, na jehož konci je umístěn hrot vyroben z diamantu s vrcholovým úhlem 60° . Hrot je v přímém kontaktu s nástrojem, který kopíruje jeho profil. Naměřené hodnoty systém vyhodnotí pomocí softwaru a jsou vyhodnoceny na monitoru PC. Nevýhodou dotykové metody měření je vliv zaoblení snímacího hrotu a omezené možnosti v hůře dostupných místech. Další nevýhodou této metody je nemožnost změřit drsnost.^{13, 14, 16}



Obrázek 2. 2 Schéma měření zaoblení ostří pomocí profilometru¹³

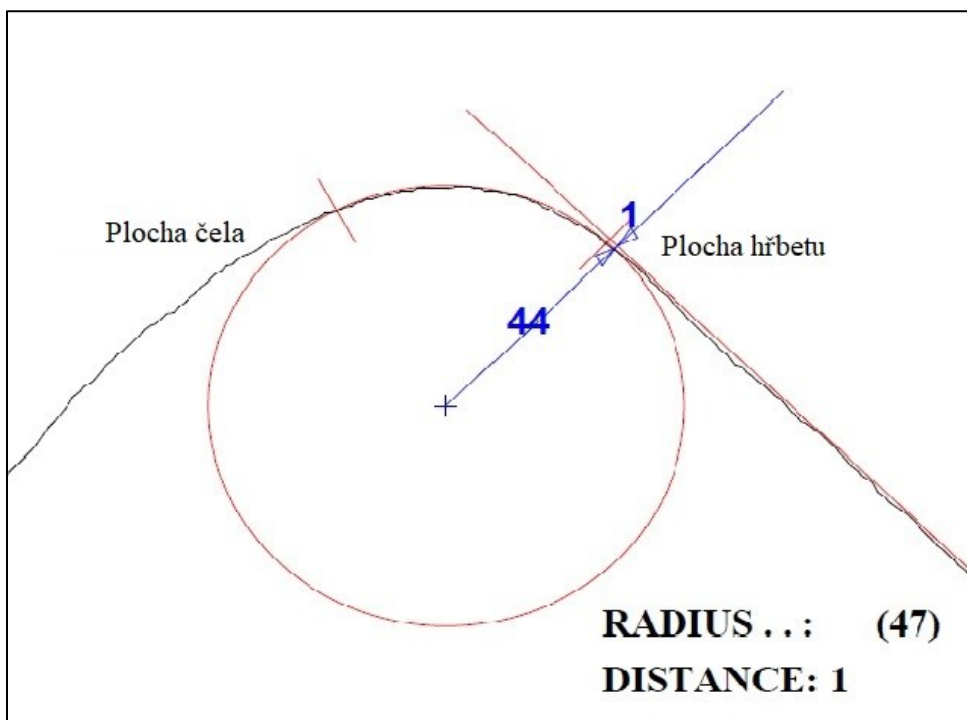
Měřicí zařízení MarSurf XCR20 dosahuje rychlosti měření až 4 mm/s a umožňuje rozsah měření až 50 mm v ose Z. Rozlišení přístroje je 0,04 μm . Snímané délky lze nastavit v rozsahu od 0,56 mm do 56 mm, přístroj zároveň dokáže vyhodnotit vhodnou hodnotu snímané délky automaticky. Sílu při měření lze nastavit na 1 mN až 120 mN směrem nahoru i směrem dolů.^{14, 16}



Obrázek 2. 3 Poloha VBD v přípravku pro měření ostří

Před měřením musela být provedena celková kalibrace měřidla dle etalonu. Měřená místa označena jsou na obrázku 2. 1 Měřené vzorky VBD byly ručně vkládány do magnetického přípravku, který zajistil vždy stejnou polohu VBD pro měření. Pro konečné vyhodnocení se musel dodržet postup měření. Po samotném náměru software zobrazí na monitoru PC vyhodnocené veličiny obrázek 2. 4.

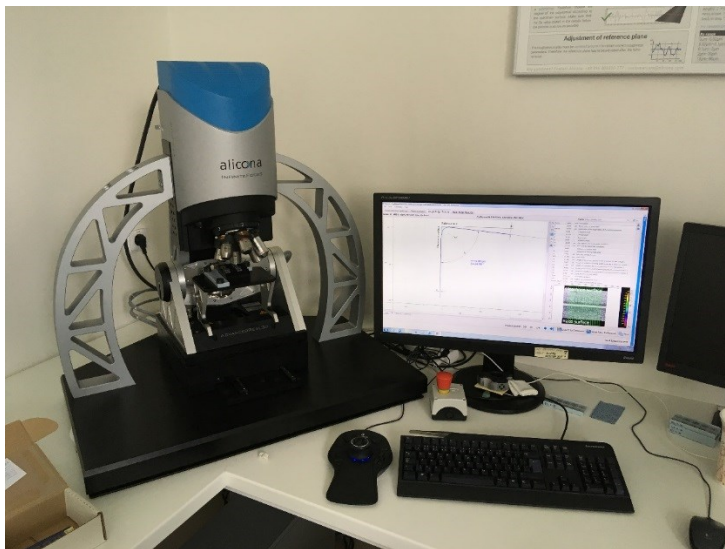
Obrázek 2. 4 zobrazuje naměřené hodnoty jednoho měření velikosti zaoblení ostří v místě A dotykovou metodou, kde velikost zaoblení ostří označuje hodnota 44 μm . Hodnota označena „distance“ zobrazuje odklonění zaobleného ostří od plochy hřbetu. Naopak hodnotu odklonu od plochy čela určuje rozdíl mezi velikostí zaoblení a hodnotou „radius“.



Obrázek 2. 4 Protokol s výsledkem naměřených hodnot u metody II

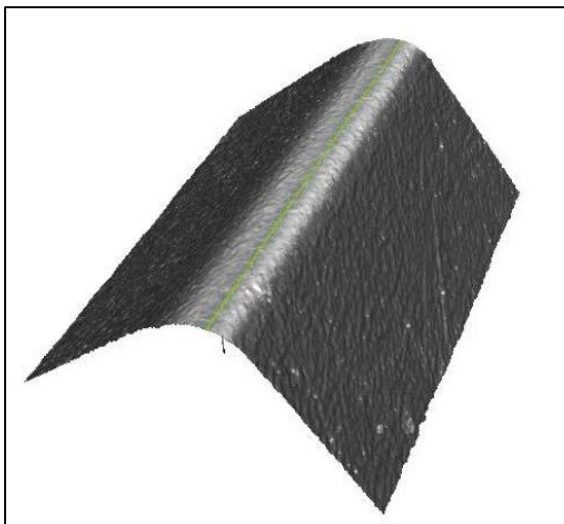
2.2.2. Optická (bezdotyková) metoda měření

V dnešní době se nejčastěji k měření mikrogeometrie břitu se používá optických metod měření ostří pracujících především na principu kombinace optického snímání s malou hloubkou ostroty a vertikálního skenování povrchu. Přístroje nejprve naskenují měřený objekt a následně vytvoří řezy tímto modelem v předem definovaných místech a následně jsou změřeny parametry modelu. Přesnost měření je závislá na čistotě vzorků, jelikož každá vada na nástroji je naskenována a může způsobit zkreslení měřených hodnot. Bezdotykové metody většinou nahrazují dotykové tam, kde jsou povrchy citlivé na mechanické poškození nebo při měření složitých nástrojů. Měřicí systém Alicona InfiniteFocus G5 je odolné vůči vibracím, není citlivý na okolní světlo a lze jej snadno integrovat do stávajících systémů. Výhodou těchto optických měřících systému je možnost ukládat si vytvořené modely a v případě potřeby na nich provést opětovné měření. ^{13, 15}



Obrázek 2. 5 Měřicí zařízení Alicona InfiniteFocus G5

Mezi přední výrobce přístrojů pro měření bezdotykovou metodou patří firma Alicona, které využívá pro svá měření i společnost Dormer Pramet s.r.o. Firma Alicona pro tuto aplikaci vytvořila měřicí systém nástroje, který je zaměřen výhradně pro měření parametrů řezné hrany v mikrorozsazích. Princip měření je založen na změně ohniskové vzdálenosti optické soustavy a umožňuje měřit zaoblení, drsnost ostří a dokonce i řezné úhly čela a hřbetu. Pomocí tohoto zařízení lze změřit i řezné úhly čela a hřbetu, což u dotykové metody nebylo možné. Při měření lze získat měření drsnosti a tvaru ve 2D i ve 3D snímání včetně skutečné barevné indikace. Povrch je zaostřen pomocí měřicí hlavy a výstupní data jsou graficky vyobrazena na monitoru nebo vytištěna do protokolu. Systém InfiniteFocus G5 je vybaven objektivem s různým zvětšením od 2,5x do 100x. Výhodou této metody je možnost změřit i těžko přístupná místa, velmi vysoká rychlost vyhodnocování dat (až 1,7 milionu měřících bodů za sekundu) a zaručená opakovatelnost měření.^{13, 15, 16}

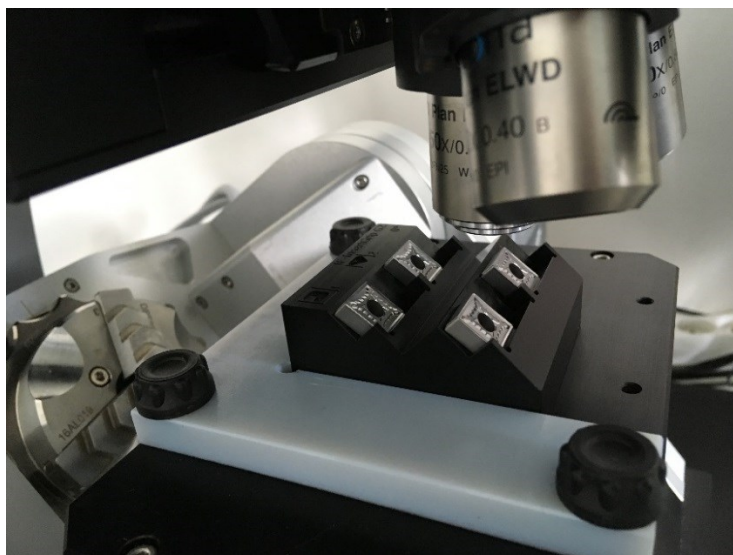


Obrázek 2. 6 3D sken břitu nástroje zařízením InfiniteFocus G5

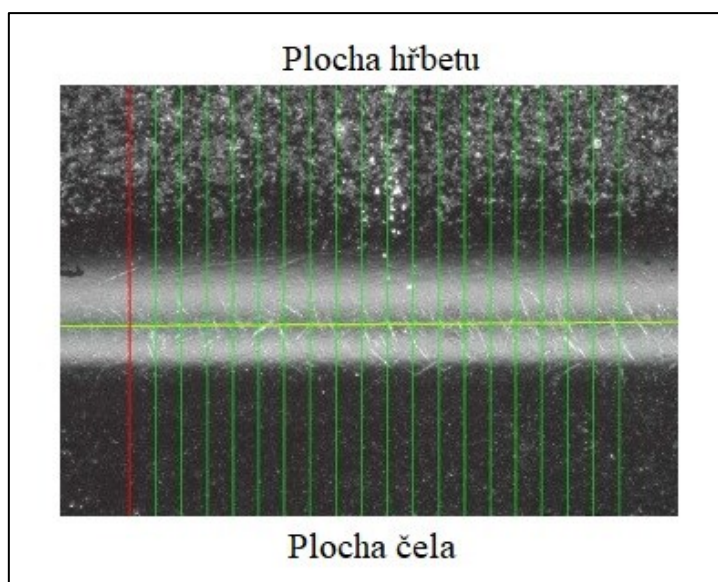
Druhé měření probíhalo na zařízení Alicona InfiniteFocus G5, jehož princip byl popsán výše. Před samotným měření musely být nejdříve na zařízení nastaveny parametry pro měření zaoblení ostří:

- objektiv s hodnotou zvětšení 50 pro lepší rozlišení,
- místo měření A – 1,4 mm od špičky VBD obr. 2. 1, které bylo ve středu zorného okna objektivu, jehož maximální velikost je 320 x 320 μm ,
- filtr profilu $\lambda_c = 80 \mu\text{m}$, který definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitostmi,
- základní délka $l_r = 320 \mu\text{m}$, je délka ve směru osy X , která se používá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil, a je rovna charakteristické vlnové délce profilového filtru λ_c .¹⁹

Po nastavení zařízení byly vzorky pro zajištění polohy vloženy do přípravku obrázek 2.7. Měřené vzorky musely být pečlivě očištěny, aby nedošlo k naskenování nečistot, které by následně mohly ovlivnit naměřené hodnoty. Po naskenování vzorků zařízení provedena na základní délce 320 μm v místě měření A 20 řezů obrázek 2. 8. Systém vyhodnotí každý z těchto řezů samostatně a následně z nich vyhodnotí průměrnou hodnotu. Tyto průměrné hodnoty jsou podkladem pro experimentální část práce.



Obrázek 2. 7 Měření velikosti zaoblení ostří VBD zařízením InfiniteFocus G5



Obrázek 2. 8 Provedené řezy na základní délce l_r

3. Zpracování výsledků a vyhodnocení

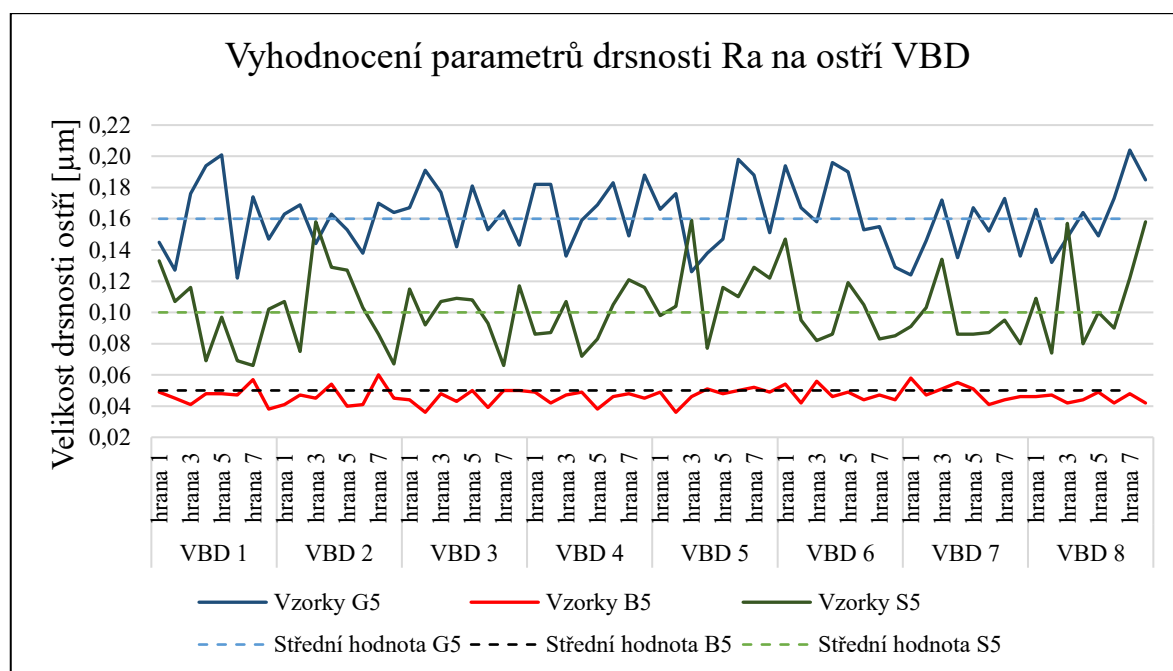
Pro vyhodnocení byly použity dotyková a optická metoda měření, kde byly sledovanými parametry:

- drsnost na zaobleném ostří řezného nástroje,
- tvar zaoblení ostří řezného nástroje,
- velikost zaoblení ostří řezného nástroje.

3.1. Vyhodnocení parametrů zaoblení ostří

3.1.1. Vyhodnocení parametru drsnosti Ra

Drsnost povrchu ostří řezného nástroje byla měřena pouze na optickém 3D mikroskopu Alicona InfiniteFocus G5, jelikož MarSurf XCR20 neumožňuje tento parametr změřit. Princip měření zařízení Alicona InfiniteFocus G5 byl blíže popsán výše. Sledovaným parametrem drsnosti byla průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu Ra dle normativu firmy.



Graf 3. 1 Vyhodnocení parametrů drsnosti Ra na ostří VBD v místě A

Graf 3.1 zobrazuje naměřené hodnoty parametru drsnosti Ra pro vybrané hrany v místě A. Měření bylo provedeno na osmi vzorcích z každé technologie úpravy ostří na hranách 1 – 8. Z těchto náměrů byly vyhodnoceny velikosti drsnosti Ra, jejich rozptyl a průměrné hodnoty. Z důvodu přehlednosti jsou v grafu zobrazeny pouze vybrané hrany. Pro vyhodnocení, která technologie zaručuje dosažení nejnižších hodnot drsnosti na

zaobleném ostří řezného nástroje, byl využit vztah pro výpočet výběrového průměru podle následujícího vzorce: ²⁴

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.4)$$

n ... počet měření

x_i ... jednotlivé naměřené hodnoty veličiny X .

Ze získaných výsledků vyplývá, že nejvyšší hodnota R_a byla dosažena u vzorků G5, které byly vyrobeny technologií otryskávání proudem abraziva. U těchto vzorků se hodnota R_a pohybuje v rozmezí od 0,12 do 0,2 μm a průměrná hodnota je 0,16 μm . Vzorky vyrobené technologií kartáčování s označením S5 se hodnota drsnosti pohybuje v rozmezí 0,07 až 0,16 μm s průměrnou hodnotou 0,12 μm . U vzorků B5 se naměřené hodnoty pohybují v rozsahu 0,04 až 0,06 μm s průměrnou hodnotou 0,05 μm .

Tabulka 3. 1 - Vyhodnocení parametru drsnosti R_a v místě měření A

Technologie	Mezní hodnoty		Rozptyl	Výběrový průměr \bar{x}
	od	do		
	[μm]		[μm]	[μm]
Leštění B5	0,04	0,06	0,02	0,05
Kartáčování S5	0,07	0,16	0,09	0,12
Otryskávání G5	0,12	0,20	0,08	0,16

Z vyhodnocených vzorků byla nejmenší drsnost zjištěna u vzorků vyrobených technologií leštění, kde je i nejmenší rozptyl naměřených hodnot. U této technologie tedy vzniká při výrobě zaoblení ostří nejméně nerovností, které by následně mohli negativně ovlivnit proces obrábění.

3.1.2. Vyhodnocení velikosti zaoblení ostří

Vyhodnocení velikosti zaoblení ostří bylo provedeno pomocí obou metod měření, tedy dotykovou i optickou metodou. Pro každou metodu byly výsledky vyhodnoceny samostatně a poté mezi sebou vzájemně porovnány.

Vyhodnocení velikosti zaoblení ostří dotykovou metodou

Tabulka 3. 2 vyhodnocuje naměřené hodnoty velikosti zaoblení ostří pro všechny naměřené vzorky B5, G5 a S5, které byly změřeny dotykovou metodou v místě měření A. Nejvyšších hodnot zaoblení ostří vykazují vzorky S5, kde se hodnoty zaoblení pohybují od 40 do 55 μm . U vzorků G5 se tyto hodnoty pohybují v intervalu od 32 do 47 μm . U vzorků S5 a B5 byl zjištěn totožný rozptyl hodnot 15 μm . Nejmenší rozptyl hodnot 6 μm byl vyhodnocen u vzorků vyrobených technologií leštění, kde byla zjištěna i nejmenší průměrná velikost zaoblení ostří 39 μm .

Tabulka 3. 2 Vyhodnocení velikosti zaoblení v místě měření A dotykovou metodou

Technologie	Mezní hodnoty		Rozptyl	Výběrový průměr \bar{x}
	od	do		
	[μm]			
Leštění B5	36	42	6	39
Kartáčování S5	40	55	15	48
Otryskávání G5	32	47	15	41

Z porovnání rozptylu hodnot jednotlivých technologií lze říci, že u vzorků vyrobených technologií leštěním byl zjištěn nejmenší rozptyl v naměřených hodnotách velikostí zaoblení ostří a lze u této technologie zaručit opakovatelnost výroby stejné velikosti zaoblení ostří s nejmenší odchylkou hodnot.

Velikost zaoblení ostří v místě měření B za použití dotykové metody vyhodnocuje tabulka 3. 3, kde nejmenší rozptyl hodnot 11 μm vykazují vzorky vyrobené leštěním. U vzorků vyrobených technologií otryskávání vodním paprskem a kartáčováním je rozptyl naměřených hodnot 19 a 20 μm .

Tabulka 3. 3 Vyhodnocení velikosti zaoblení v místě měření B dotykovou metodou

Technologie	Mezní hodnoty		Rozptyl	Výběrový průměr \bar{x}
	od	do		
	[μm]			
Leštění B5	30	41	11	34
Kartáčování S5	46	66	20	56
Otryskávání G5	32	51	19	41

Při porovnání tabulky 3. 2 a 3. 3, které jsou výsledkem dotykové metody měření pro obě místa měření je výsledkem, že trend nejmenšího rozptylu ve velikosti zaoblení ostří je v obou

měřených místech totožný. V měřeném místě B byl zjištěn větší rozptyl velikosti zaoblení ostří. Největší rozptyl hodnot byl zjištěn u technologie kartáčování a otryskáváním vodním paprskem. Naproti tomu nejmenší rozptyl hodnot byl v obou měřených místech zjištěn u vzorků vyrobených technologií leštěním.

Vyhodnocení velikosti zaoblení ostří optickou metodou

Pro optickou metodu jsou naměřené hodnoty velikosti ostří v místě měření A vyhodnoceny v tabulce 3. 4, kde nejmenší rozptyl ve velikosti zaoblení ostří byl zjištěn u vzorků vyrobených technologií kartáčování. Zde je rozptyl naměřených hodnot 13 μm . Stejný rozptyl hodnot ve velikosti zaoblení ostří v místě A byl zjištěn u vzorků vyrobených leštěním a otryskáváním vodním paprskem.

Tabulka 3. 4 Vyhodnocení velikosti zaoblení v místě měření A optickou metodou

Technologie	Mezní hodnoty		Rozptyl	Výběrový průměr \bar{x}
	od	do		
	[μm]		[μm]	[μm]
Leštění B5	36	52	16	44
Kartáčování S5	45	58	13	52
Otryskávání G5	43	59	16	51

Velikost zaoblení ostří v místě měření B, která byla měřena optickou metodou, je vyhodnocena v tabulce 3. 5, kde byl největší rozptyl hodnot 17 μm zjištěn u technologie kartáčování. U technologie leštění a otryskávání vodním paprskem je rozptyl hodnot totožný 16 μm .

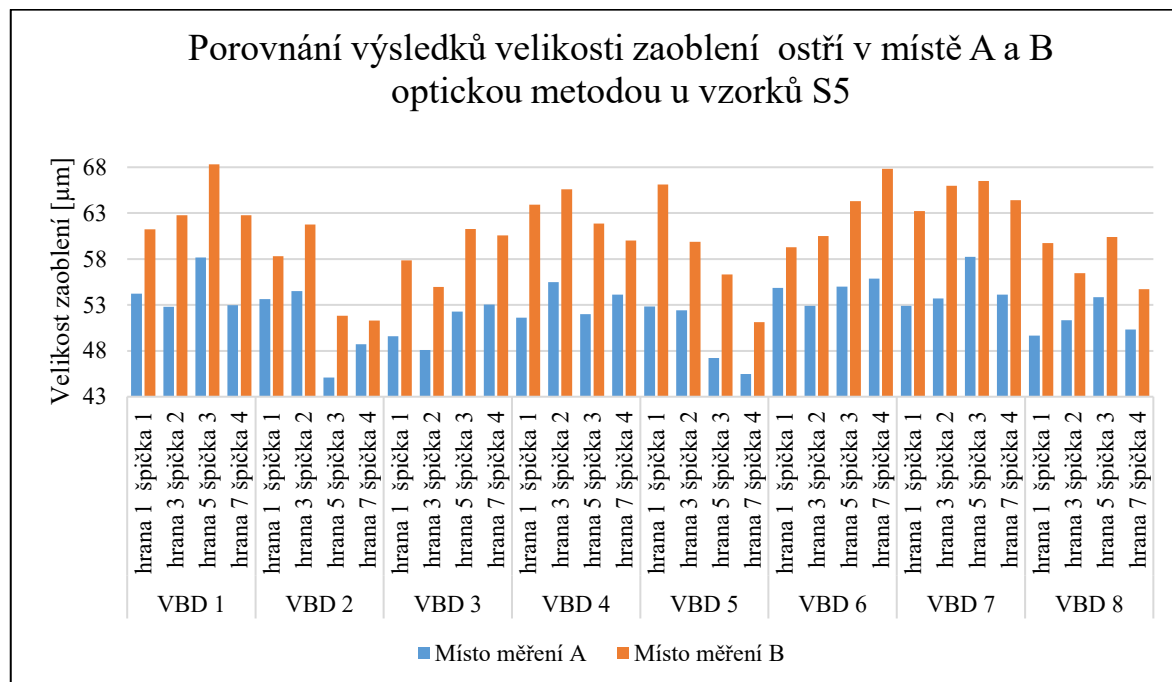
Tabulka 3. 5 Vyhodnocení velikosti zaoblení v místě měření B optickou metodou

Technologie	Mezní hodnoty		Rozptyl	Výběrový průměr
	od	do		
	[μm]		[μm]	[μm]
Leštění B5	30	40	10	34
Kartáčování S5	51	68	47	61
Otryskávání G5	43	57	14	51

Porovnáním tabulky 3. 4 a 3. 5 bylo zjištěno, že v obou místech měření optickou metodou byl největší rozsah naměřených hodnot zjištěn u vzorků vyrobených technologií kartáčování, které dosahují v obou měřených místech nejvyšší velikost zaoblení ostří, což může být následkem nevhodně nastavených výrobních parametrů zaoblení ostří.

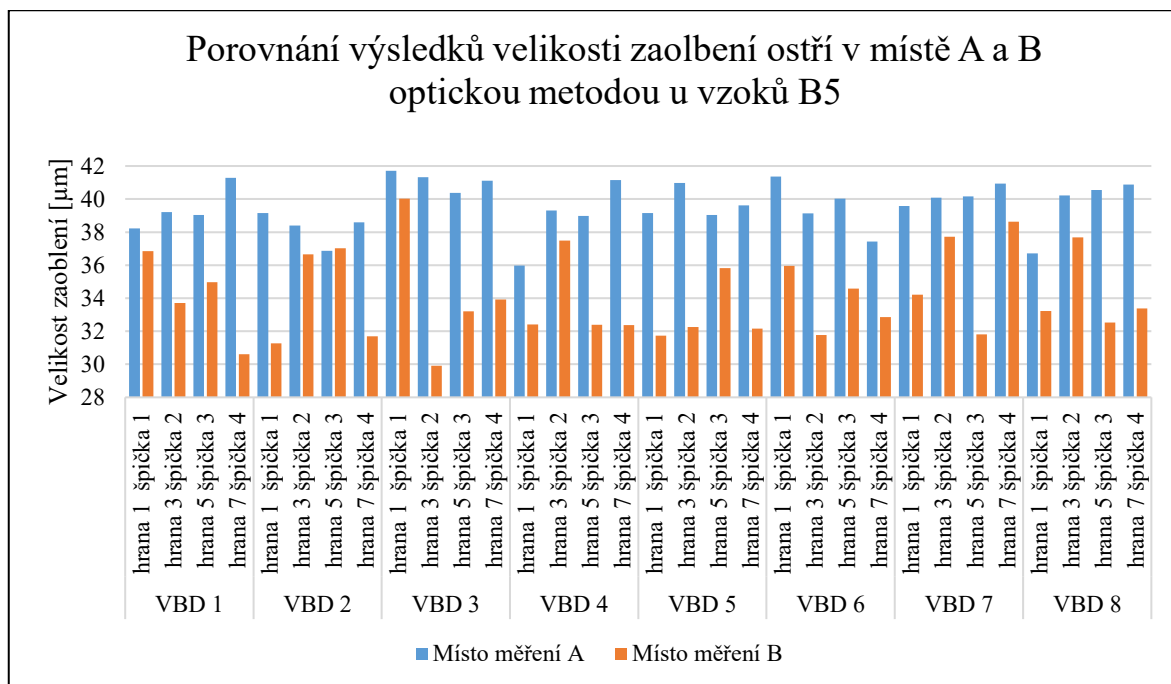
Porovnání velikosti zaoblení ostří v místě měření A a B optickou metodou

Následující grafy 3. 2 až 3. 4 zobrazují rozdíl naměřených hodnot ve velikosti zaoblení v měřených místech A a B za použití optické metody měření. Porovnání hodnot je provedeno pro všechny použité technologie úpravy ostří tedy leštění, kartáčování a otryskávání.



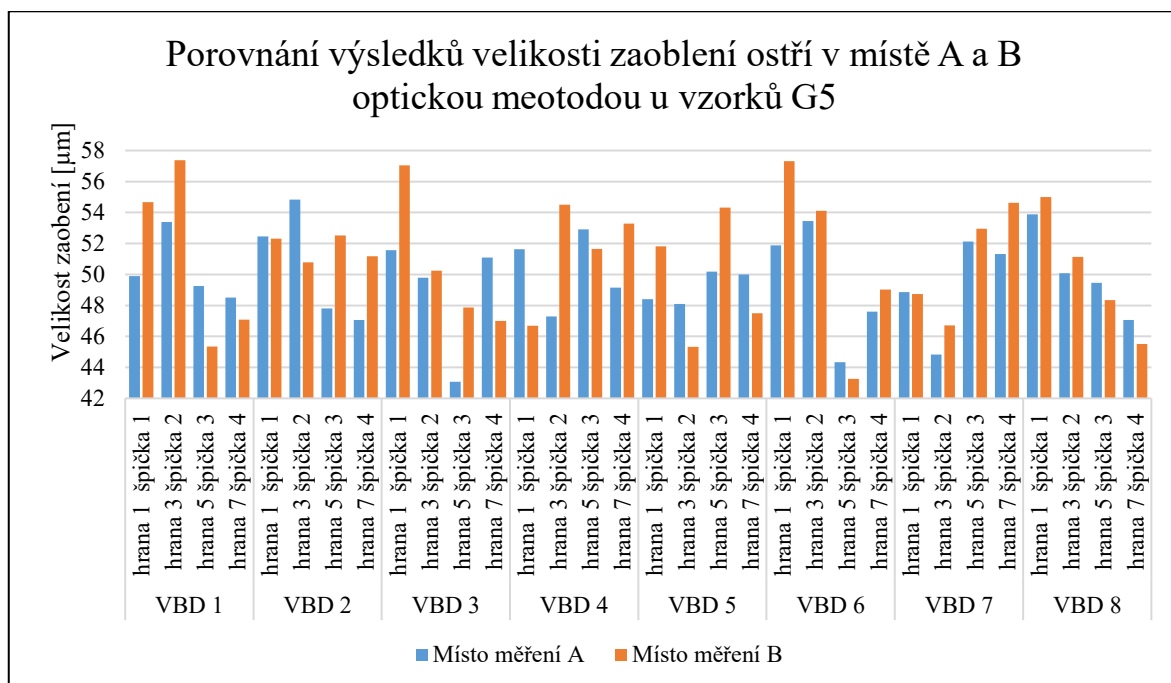
Graf 3. 2 Porovnání výsledků velikosti zaoblení ostří v místě měření A a B, které byly změřeny optickou metodou u vzorků vyrobených technologií kartáčování

Vzorky vyrobené kartáčováním vyhodnocuje graf 3. 2, kde je evidentní rozdíl v hodnotách velikosti zaoblení ostří v místě měření A a B. V měřeném místě B jsou hodnoty velikosti zaoblení ostří vyšší a to v průměru o 8 μm .



Graf 3. 3 Porovnání výsledků velikosti zaoblení ostří v místě měření A a B, které byly změřeny optickou metodou u vzorků vyrobených technologií leštění

U vzorků B5, vyrobených technologií leštěním již nejsou mezi měřenými místy tak velké rozdíly. V průměru je zde rozdíl 5 μm , kde větší velikost zaoblení ostří bylo zjištěno v místě měření B.



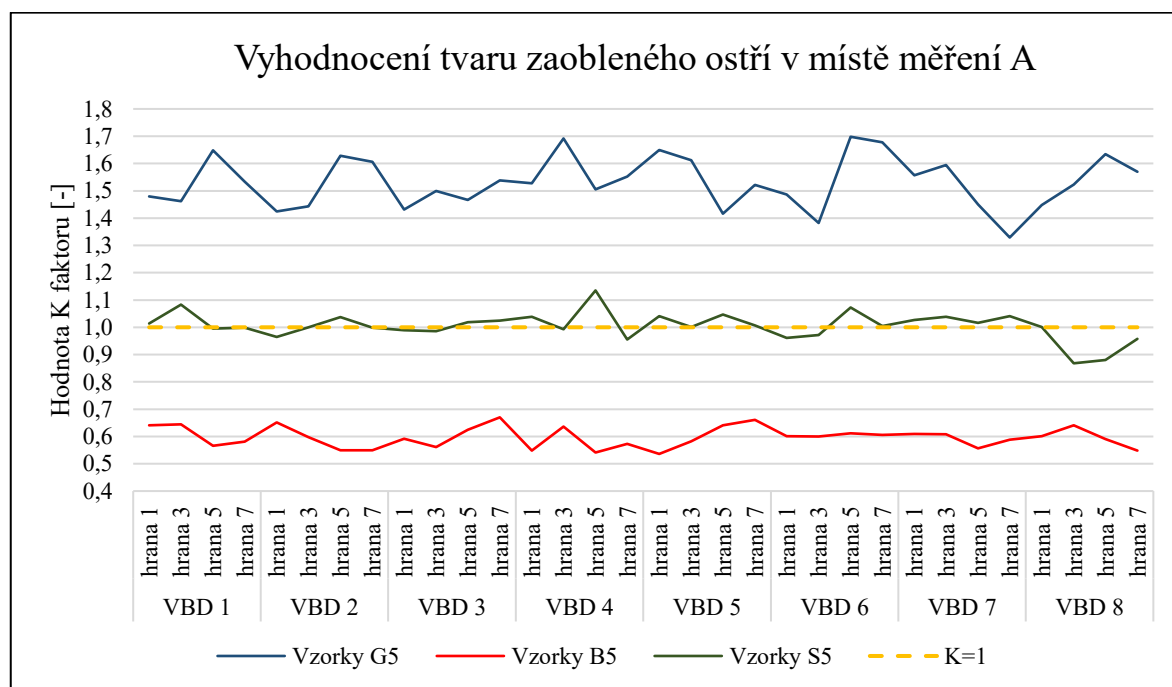
Graf 3. 4 Porovnání výsledků velikosti zaoblení ostří v místě měření A a B, které byly změřeny optickou metodou u vzorků vyrobených technologií otryskávání vodním paprskem

Nejmenší rozdíl mezi měřeními místy A a B byl vyhodnocen u vzorků G5, vyrobených technologií otryskávání vodním paprskem. Zde je rozptyl naměřených hodnot v průměru 3 μm . U 56,2 % vzorků je velikost zaoblení ostří vyšší v místě měření B.

3.2.1. Vyhodnocení tvaru zaoblení ostří VBD

Vyhodnocení tvaru zaoblení ostří optickou metodou

U optické metody se tvar vyhodnocuje K faktorem, který vyjadřuje odklon tvaru od plochy hřbetu ($K > 1$) nebo od plochy čela ($K < 1$) jak již bylo zmíněno v kapitole 1. 3. Vyhodnocení bylo provedeno v místě A pro vzorky G5, S5 a B5, u kterých bylo provedeno osm náměrů. Pro možnost následného porovnání, jsou v grafu 3. 5 zobrazeny pouze vybrané hrany.



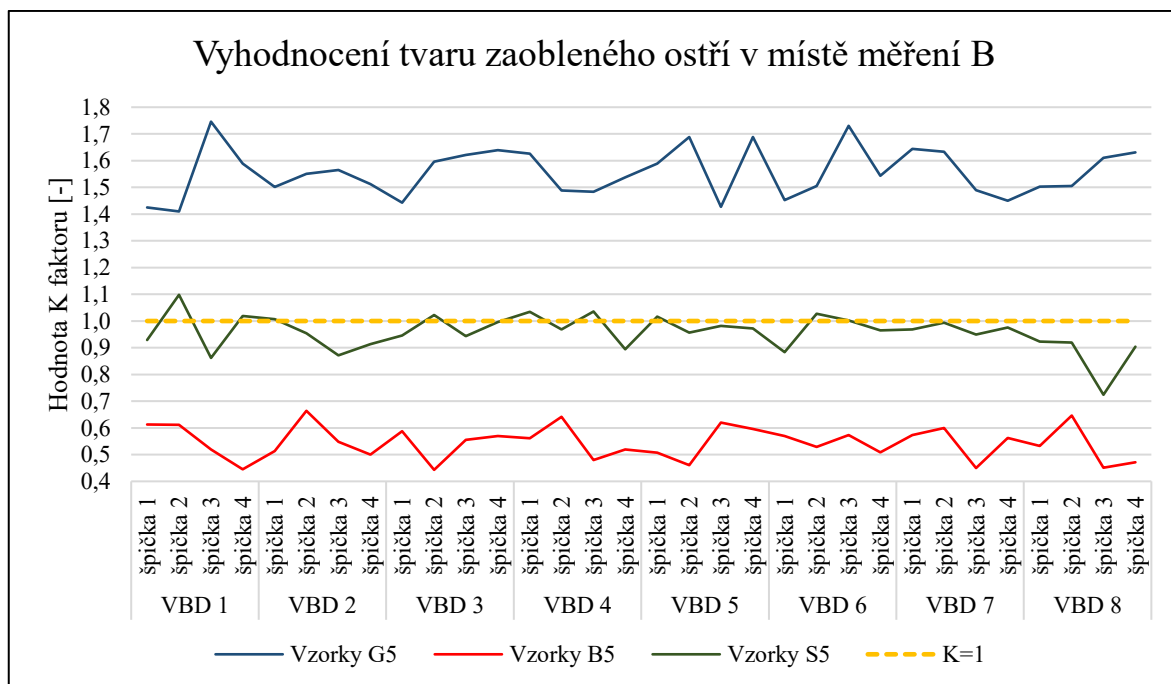
Graf 3. 5 Vyhodnocení tvaru zaobleného ostří v místě měření A pro optickou metodu, který je vyjádřen K faktorem

Graf č. 3. 5 vyhodnocuje tvar zaoblení ostří v místě měření A. Z vyhodnoceného grafu je patrné, že vzorky S5 vyrobené technologií kartáčování se tvarem nejvíce přibližují symetrickému tvaru ostří. U vzorků G5 vyrobených otryskáváním jsou hodnoty $K > 1$ a tvar ostří je odkloněn od plochy čela. Vzorky vyrobené technologií leštění vykazují hodnoty $K < 1$ a jejich tvar ostří je naopak odkloněn od plochy hřbetu.

Tabulka 3. 6 Vyhodnocení K faktoru pro tvar zaobleného ostří v místě měření A optickou metodou

Technologie	Mezní hodnoty		Rozptyl	Výběrový průměr \bar{x}
	od	do		
	[-]			
Leštění B5	0,5	0,8	0,3	0,5
Kartáčování S5	0,9	1,1	0,2	1,0
Otryskávání G5	1,3	1,7	0,4	1,5

U vzorků vyrobených kartáčováním, které se tvarem nejvíce přiblížily symetrickému tvaru ostří, byl zjištěn v místě měření A nejmenší rozptyl v hodnotách K faktoru. Vzorky vyrobené otryskáváním vodním paprskem při porovnání použitých metod dosahují největšího rozptylu hodnot K faktoru.

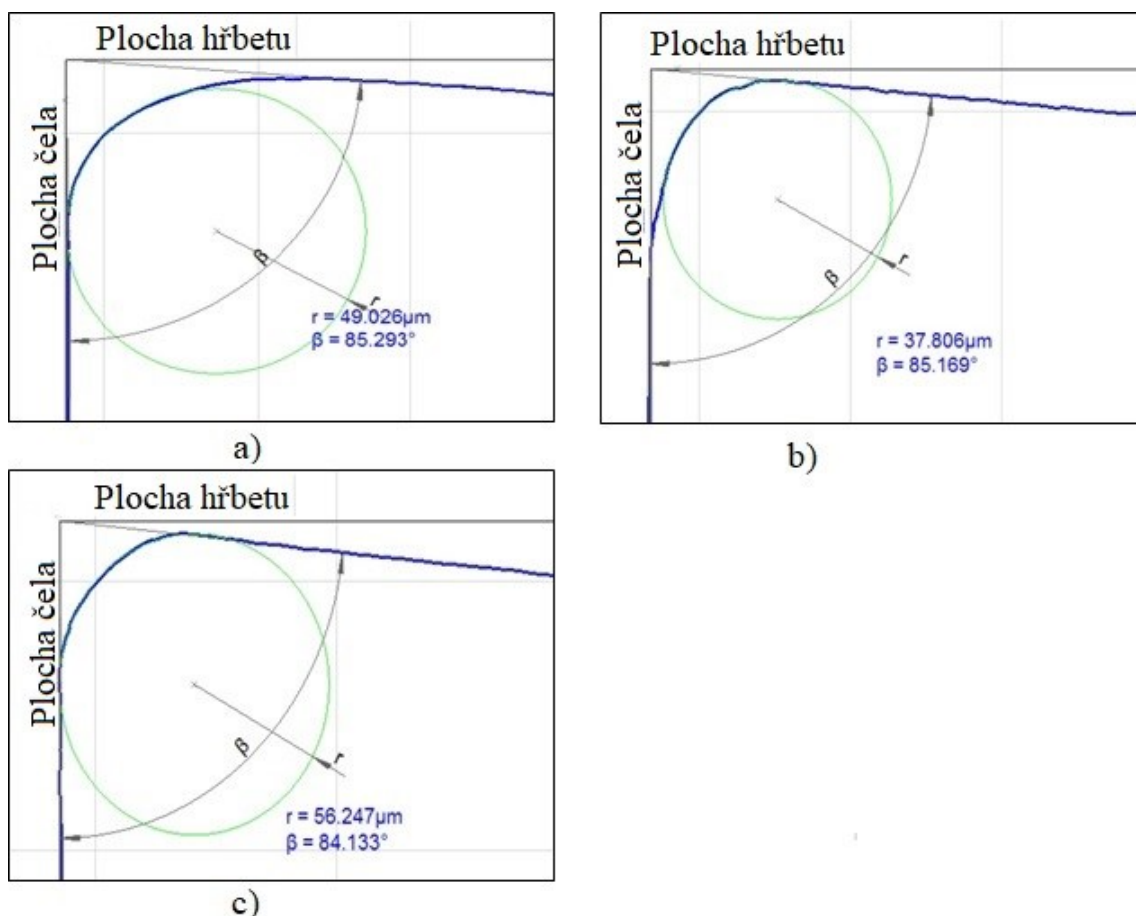
**Graf 3. 6** Vyhodnocení tvaru zaobleného ostří v místě měření B pro optickou metodu, který je vyjádřen K faktorem

Vyhodnocení tvaru zaobleného ostří bylo provedeno i pro místo měření B, které vyjadřuje graf 3. 6. Symetrickému tvaru zaobleného ostří se i v tomto místě nejvíce přiblížily vzorky vyrobené kartáčováním.

Tabulka 3. 7 Vyhodnocení K faktoru pro tvar zaobleného ostří v místě měření B optickou metodou

Technologie	Mezní hodnoty		Rozptyl	Výběrový průměr \bar{x}
	od	do		
	[-]			
Leštění B5	0,4	0,7	0,3	0,5
Kartáčování S5	0,7	1,1	0,4	0,9
Otryskávání G5	1,3	1,7	0,4	1,5

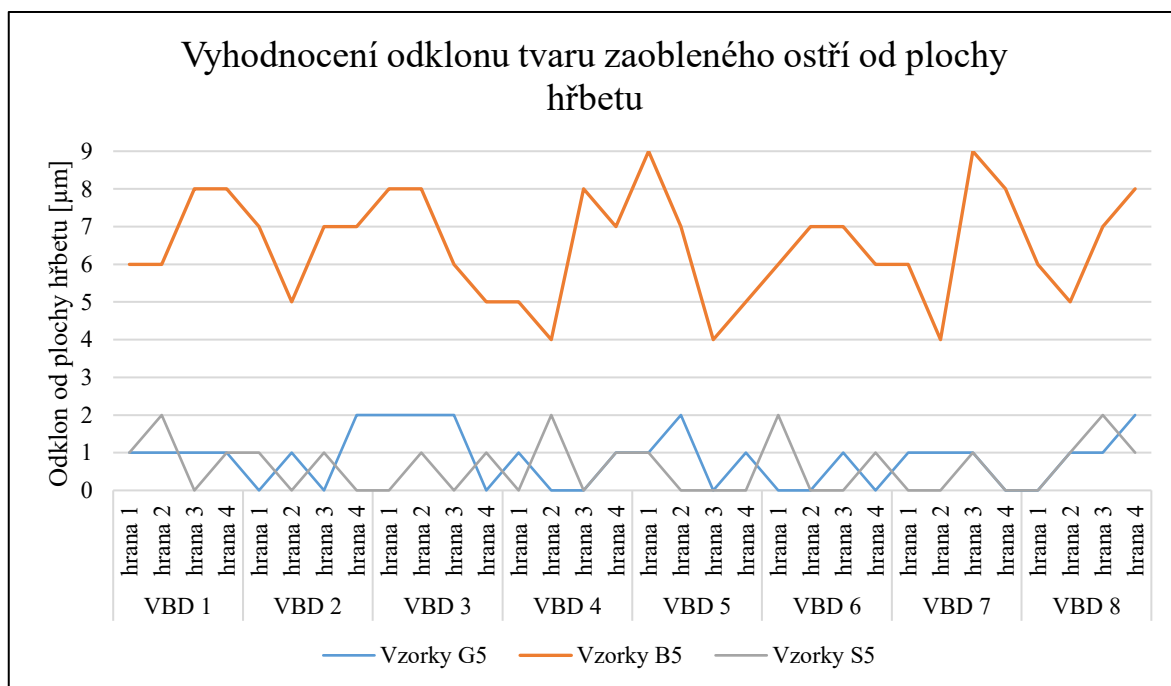
Při vyhodnocení tvaru zaoblení ostří u optické metody byl dodržen stejný trend v obou měřených místech. Symetrickému tvaru se přiblížily vzorky vyrobené kartáčováním, u kterých byl však zjištěn odlišný rozptyl hodnot K faktoru. V místě měření A byl rozdíl 0,2 a v místě měření B 0,4. U vzorků vyrobených leštěním je tvar zaobleného ostří odkloněn od plochy hřbetu. Vzorky vyrobené technologií otryskáváním vodním paprskem mají tvar zaobleného ostří odkloněný od ploch čela. Vyhodnocené tvary pro použité technologie jsou zobrazeny na obrázku 3.1.



Obrázek 3. 1 Tvar zaoblení ostří v místě A a) vzorky B5, b) vzorky G5, c) vzorky S5

Vyhodnocení tvaru zaoblení ostří u dotkové metody

Hodnocení bylo provedeno v obou místech měření pro všechny vzorky G5, B5 a S5. U dotkové metody tvar určují velikosti odklonu od plochy čela nebo od plochy hřbetu jak již bylo popsán v kapitole 2. 1. 1.

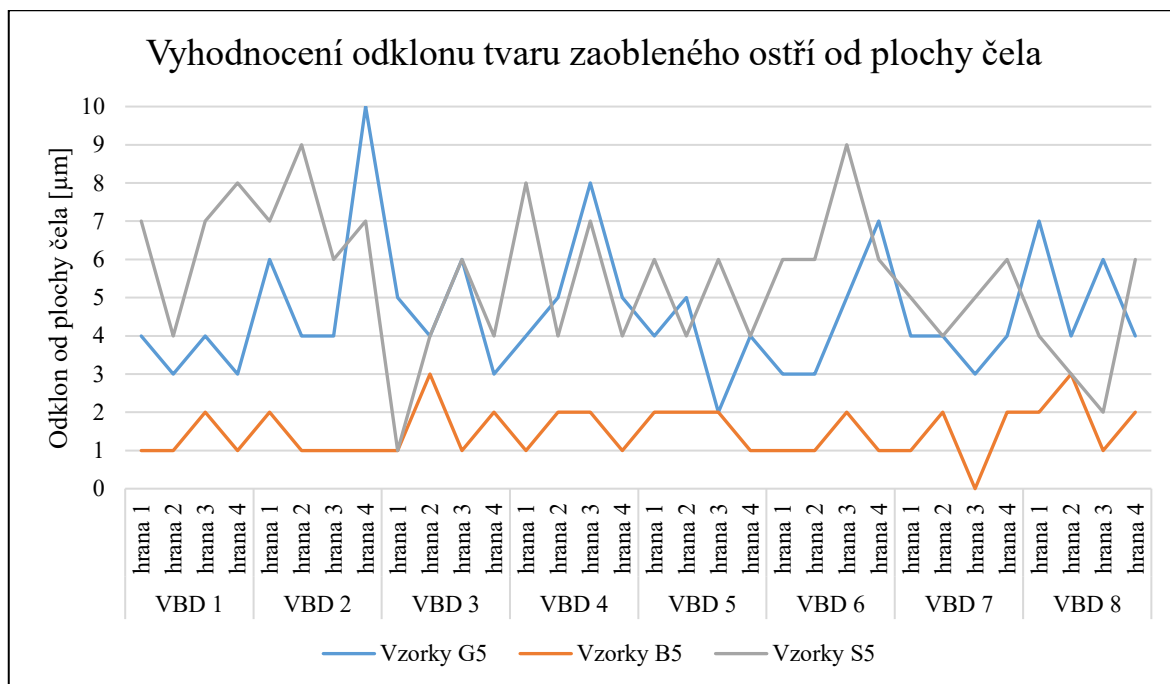


Graf 3. 7 Vyhodnocení velikosti odklonu tvaru ostří od plochy hřbetu místě měření A dotkovou metodou

Největší odklon od plochy hřbetu při hodnocení tvaru zaoblení ostří v místě měření A vykazují z grafu 3. 7 vzorky vyrobené technologií leštění, kde se odklon od hřbetu pohybuje od 4 do 9 μm . Vzorky upravené technologií kartáčování a otryskávání vodním paprskem dosahují hodnot od 0 do 2 μm z čehož nelze jednoznačně vyhodnotit jejich tvar.

Tabulka 3.8 Vyhodnocení velikosti odklonu tvaru ostří od plochy hřbetu v místě měření A pro dotkovou metodu

Technologie	Mezní hodnoty		Rozptyl
	od	do	
	[μm]		
Leštění B5	4	9	5
Kartáčování S5	0	2	2
Otryskávání G5	0	2	2



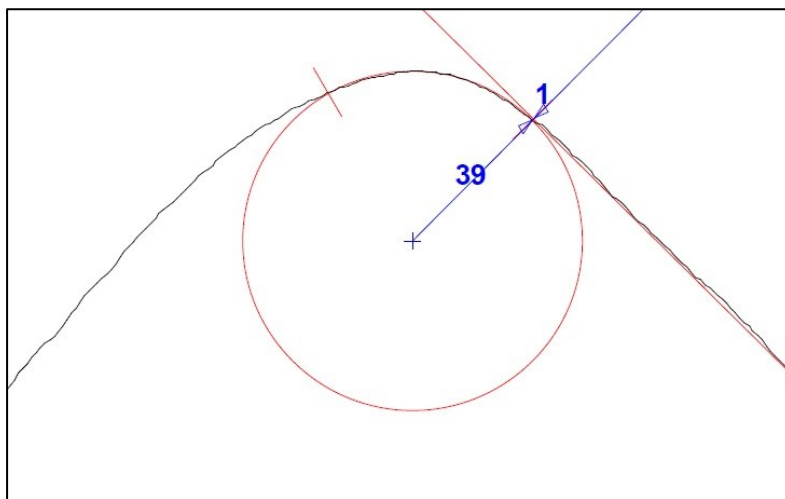
Graf 3. 8 Vyhodnocení velikosti odklonu tvaru ostří od plochy čela v místě měření A dotykovou metodou

Hodnota odklonu tvaru zaobleného ostří od plochy čela je spojena s hodnotou velikosti zaoblení ostří. Pro zjištění odklonu tvaru od plochy čela je nutné tyto dvě hodnoty mezi sebou odečíst. Z tohoto výsledku již lze vyhodnotit skutečný odklon tvaru zaobleného ostří od plochy čela.

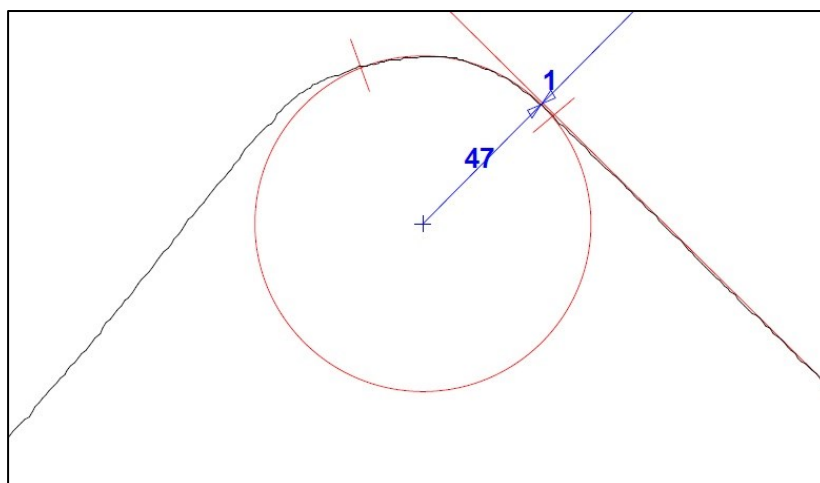
Tabulka 3. 8 Vyhodnocení velikosti odklonu tvaru ostří od plochy čela v místě měření A pro dotykovou metodu

Technologie	Mezní hodnoty		Rozptyl
	od	do	
	[μm]		
Leštění B5	0	3	3
Kartáčování S5	1	9	8
Otryskávání G5	2	10	8

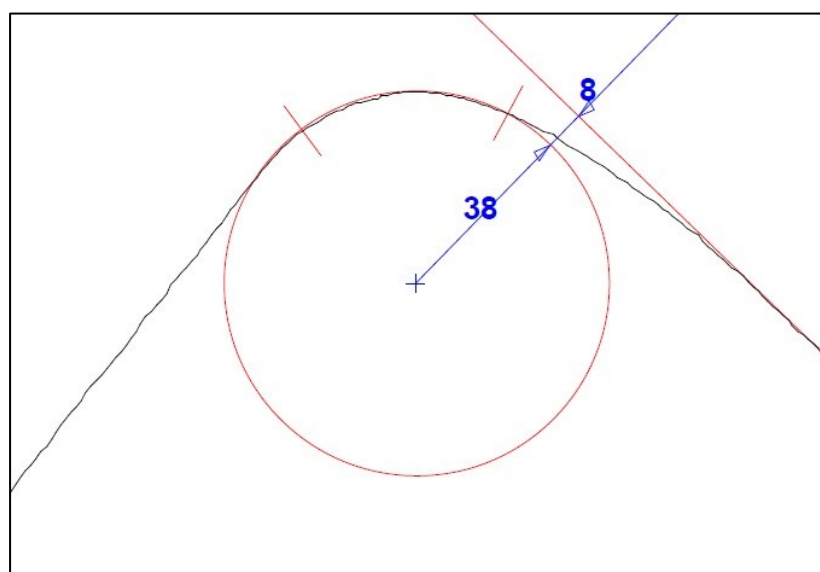
Vyhodnocení tvaru zaobleného ostří v místě měření A je zobrazuje graf 3. 8. Nejmenší odklon tvaru od plochy čela 3 µm, který je zanedbatelný, vykazují vzorky vyrobené leštěním. U vzorků vyrobených leštěním a otryskáváním je hodnota odklonu od plochy čela jednoznačně vyšší. Jejich tvar zaobleného ostří je tedy odkloněn od plochy čela.



Obrázek 3. 2 Tvar zaoblení ostří v místě měření A u vzorků vyrobených otryskáváním vodním paprskem



Obrázek 3. 3 Tvar zaoblení ostří v místě měření A u vzorků vyrobených kartáčováním



Obrázek 3. 4 Tvar zaoblení ostří v místě měření A u vzorků vyrobených leštěním

Tvar zaobleného ostří pro dotykovou metodu měření byl vyhodnocen i v místě B, kde jsou hodnoty odklonů vyhodnoceny v tabulce 3. 9 pro odklon od plochy hřbetu a 3. 10 pro odklon od čelní plochy.

Tabulka 3. 9 Hodnoty odklonu tvaru zaobleného ostří od plochy hřbetu v místě měření B

Technologie	Mezní hodnoty		Rozptyl
	od	do	
	[μm]		[μm]
Leštění B5	4	10	6
Kartáčování S5	0	2	2
Otryskávání G5	0	7	7

Tabulka 3. 10 Hodnoty odklonu tvaru zaobleného ostří od plochy čela v místě měření B

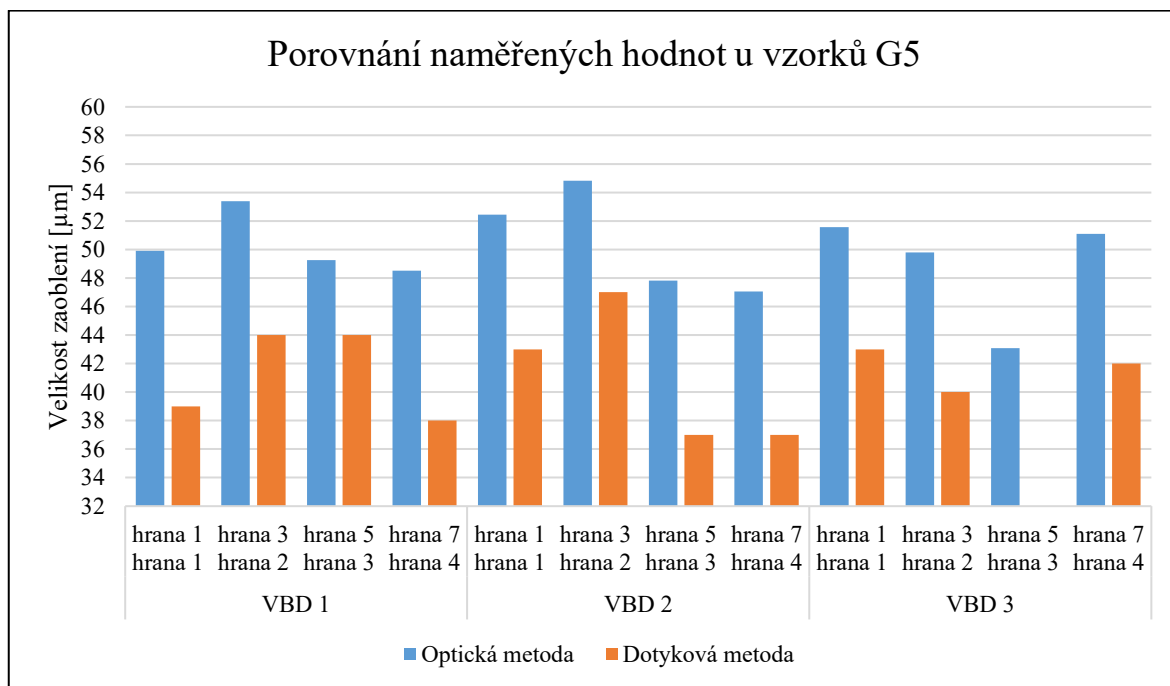
Technologie	Mezní hodnoty		Rozptyl
	od	do	
	[μm]		
Leštění B5	1	5	4
Kartáčování S5	2	11	9
Otryskávání G5	2	10	8

V místě měření B u leštění a otryskávání jsou hodnoty odklonu od plochy hřbetu výrazně vyšší, než byly zjištěny v místě měření A. Při porovnání tabulek 3. 9 a 3. 10 lze konstatovat, že vzorky vyrobené kartáčováním mají tvar zaobleného ostří odkloněn od plochy čela, jelikož je tato hodnota vyšší než hodnota odklonu od plochy hřbetu. Tvar zaobleného ostří u vzorků vyrobených leštěním je odkloněn od plochy hřbetu naopak u vzorků vyrobených technologií otryskávání je vyšší hodnota u odklonu od plochy čela.

Pro vyhodnocení tvaru zaoblení ostří v místě A i B byly použity obě metody měření. U optické metody se pro vyhodnocení tvaru zaoblení ostří využívá K faktor, který se vypočte jako podíl S_γ / S_α . Dotyková metoda vyhodnocuje tvar ostří podle odklonu od plochy čela a od plochy hřbetu. U vzorků vyrobených leštěním je tvar zaobleného ostří odkloněn od plochy hřbetu. Odkloněný tvar od plochy čela byl vyhodnocen u vzorků vyrobených otryskáváním. U obou metod měření byl dodržen trend tvaru zaobleného ostří pro obě měřená místa. Rozdílné tvary zaobleného ostří byly vyhodnoceny u technologie leštění, kde u dotykové metody byl tvar v obou měřených místech odkloněn od plochy čela. Naopak u optické metody byl tvar vyhodnocen jako symetrický.

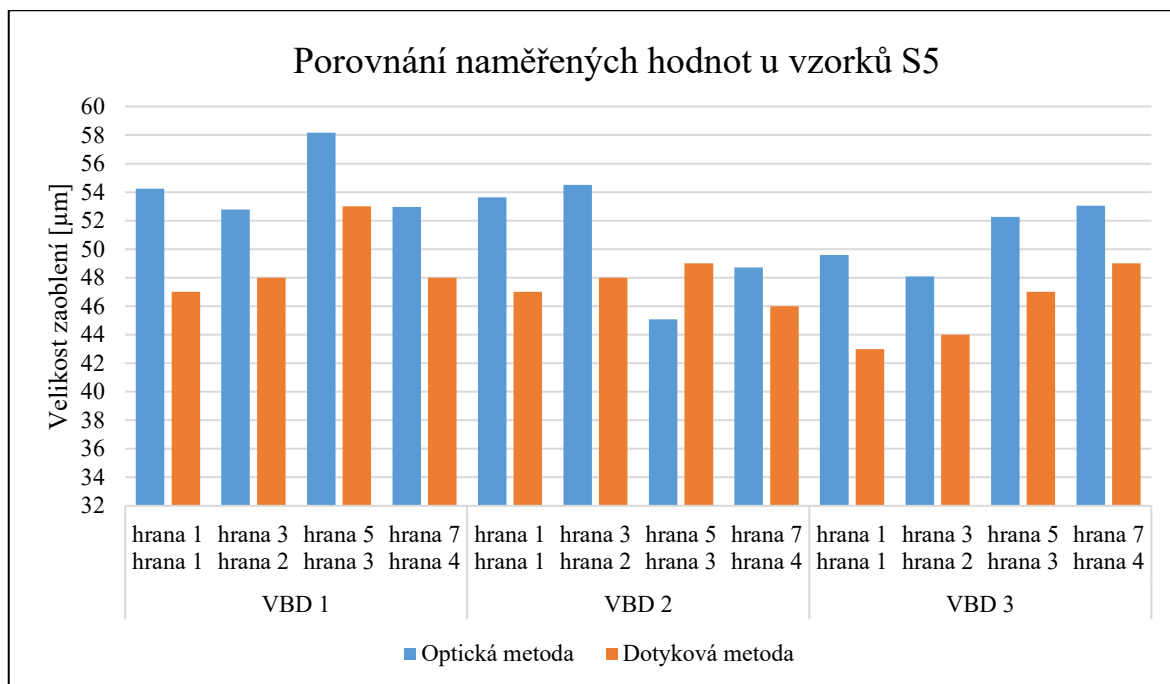
3.2. Porovnání naměřených hodnot u optické a dotykové metody

Pro porovnání hodnot byly u každé metody měření vybrány pouze vzorky VBD 1, VBD 2 a VBD 3. Porovnání je uvedeno pouze pro místo měření A, neboť místo měření B vykazuje stejný trend rozptylu naměřených hodnot. U dotykové metody byly změřeny čtyři velikosti zaoblení ostří, zatímco u optické metody bylo na každém vzorku změřeno osm hodnot. Pro porovnání byly vybrány hodnoty ze stejných míst měření.



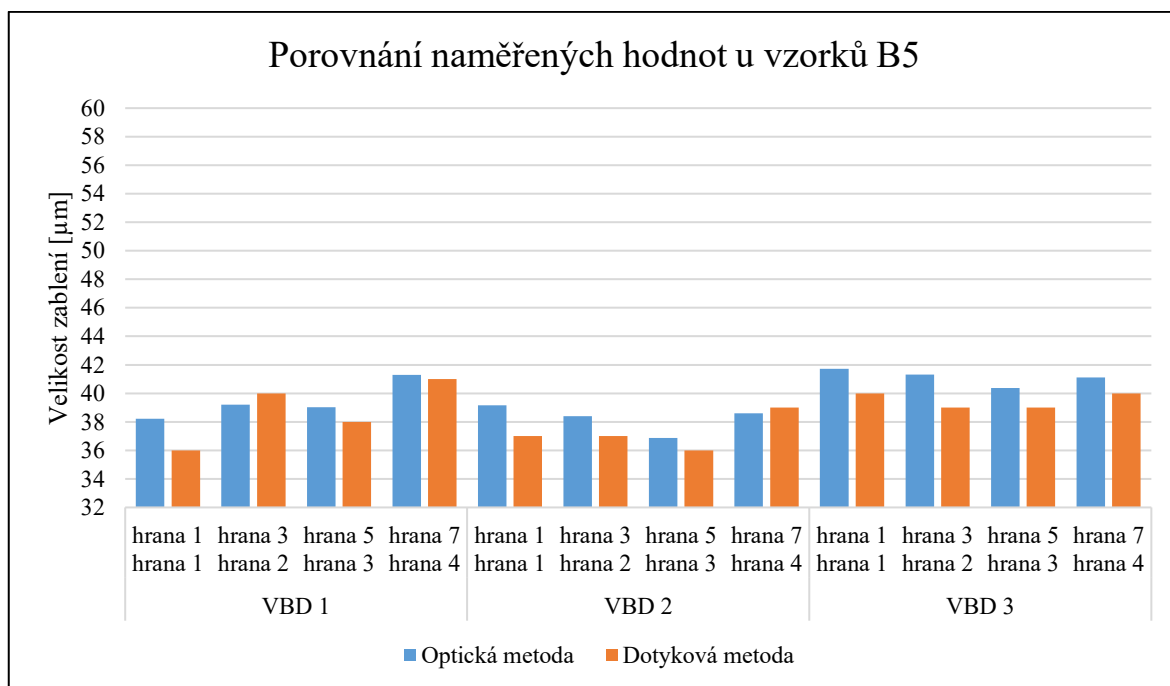
Graf 3. 9 Porovnání naměřených hodnot velikosti zaoblení ostří v místě A metodou dotykovou a optickou pro vzorky vyrobené otryskáváním vodním paprskem

Rozdíly ve velikostech zaoblení ostří v místě A pro vzorky vyrobené otryskáváním vodním paprskem vyhodnocuje graf 3.9, kde jsou zřejmé velké rozdíly v naměřených hodnotách. Rozptyl hodnot je průměrně 9 μm. U těchto vzorků byl vyhodnocen u obou metod měření tvar zaoblení odkloněn od plochy čela.



Graf 3. 10 Porovnání naměřených hodnot velikosti zaoblení ostří v místě A metodou dotykovou a optickou pro vzorky vyrobené kartáčováním

U vzorků vyrobených kartáčováním již nejsou rozdíly v naměřených velikostech zaoblení ostří tak velké. Zde je průměrný rozptyl hodnot 5 μm. Při vyhodnocení tvaru zaobleného ostří byly výsledky rozdílné. U optické metody je tvar vyhodnocen jako symetrický avšak u metody dotykové je tvar zaobleného ostří odkloněn od plochy čela.



Graf 3. 11 Porovnání naměřených hodnot velikosti zaoblení ostří v místě A metodou dotykovou a optickou pro vzorky vyrobené leštěním

U vzorků vyrobených technologií leštěním je rozptyl naměřených velikostí zaoblení ostří zjištěn nejmenší 1 μm . Tento rozptyl hodnot vyhodnocuje graf 3. 11, ze kterého je také patrné, že u většiny měřených vzorků byla změřena větší velikost zaobleného ostří optickou metodou. Při vyhodnocení tvaru zaobleného ostří, který je odkloněn od plochy hřbetu, byl dodržen trend ve velikosti zaoblení řezného ostří u obou metod měření.

Závěr

Experimentální část práce se zabývala sledováním parametrů zaoblení ostří vyměnitelných břitových destiček ze slinutého karbidu, u kterých bylo zaoblené ostří vyrobeno pomocí technologie kartáčování, leštění a otryskávání vodním paprskem založených na mechanických principech úběru materiálu. Sledované parametry v experimentální části:

- drsnost na zaobleném ostří řezného nástroje,
- tvar zaoblení ostří řezného nástroje,
- velikost zaoblení ostří řezného nástroje.

Výše zmíněné parametry byly sledovány ve dvou místech řezného ostří VBD na dotykovém zařízení Mahr MarSurf XCR20 a na optickém zařízení Alicona InfiniteFocus G5, kterými disponuje společnost Dormer Pramet s. r. o. Na dotykovém zařízení byla změřena velikost a tvar zaobleného ostří. Drsnost na zaobleném ostří u použitého dotykového zařízení nelze změřit. Z toho důvodu byl tento parametry vyhodnocen pouze na optickém zařízení, na kterém byly nastaveny parametry pro měření zaoblení ostří řezného nástroje:

- objektiv s hodnotou zvětšení 50,
- místo měření A – 1,4 mm od špičky VBD, které bylo ve středu zorného okna objektivu, jehož maximální velikost je 320 x 320 μm ,
- filtr profilu $\lambda_c = 80 \mu\text{m}$,
- základní délka $l_r = 320 \mu\text{m}$.

Ze všech sledovaných vzorků byla nejvyšší drsnost R_a až 0,20 μm na zaobleném ostří vyhodnocena u vzorků vyrobených technologií kartáčování. Nižší hodnota drsnosti R_a byla zjištěna u vzorků vyrobených technologií otryskávání vodním paprskem. S nejnižší hodnotou drsnosti byly vyrobeny pomocí technologie leštění, u které byly mezní hodnoty R_a od 0,04 do 0,06 μm . Tyto vzorky vykazaly i nejmenší rozptyl 0,02 μm v naměřených hodnotách. Z toho výsledku lze konstatovat, že zařízení je schopné za výše nastavených parametrů optimálně vyhodnotit tento parametr.

Velikost zaoblení ostří byla sledována ve dvou místech měření u optické i dotykové metody měření, u které byl dodržen trend v rozptylech naměřených hodnot. Nejmenší velikost zaoblení a nejnižší rozsah byl vyhodnocen u vzorků vyrobených technologií leštění. Pomocí technologie otryskávání vodním paprskem a kartáčování bylo zjištěno,

že v měřených místech vykazují vzorky stejný rozptyl v naměřených hodnotách. U optické metody již trend dodržen nebyl. Každé z měřených míst vykazují jiné rozptyly velikostí zaoblení řezného ostří. Při vzájemném porovnání měřených míst byly největší rozdíly ve velikosti měřených míst u technologie kartáčování, kde se hodnoty průměrně lišily o 8 μm . U vzorků vyrobených technologií otryskávání vodním paprskem byly zjištěny rozdíly průměrně 5 μm . Nejmenší rozdíly 3 μm byly vyhodnoceny u vzorků vyrobených pomocí leštění.

Pro vyhodnocení tvaru zaobleného řezného ostří byly použity obě metody měření. Princip dotykové metody spočívá ve vyhodnocení odklonu tvaru zaobleného ostří od plochy hřbetu a plochy čela. U optické metody je tvar vyhodnocen K faktorem, který je dán vztahem S_γ / S_α . Tvar zaoblení ostří byl vyhodnocen u vzorků vyrobených leštěním u obou metod měření odkloněn od plochy hřbetu. Tvar odkloněný od plochy čela byl vyhodnocen u vzorků vyrobených technologií otryskávání vodním paprskem. Rozdílné tvary byly vyhodnoceny u vzorků vyrobených kartáčováním. Zde byl tvar u dotykového měření odkloněn od plochy čela naopak u optické metody byl tvar vyhodnocen jako symetrický. Závěrem lze konstatovat, že tvary zaobleného ostří lze vzájemně porovnat, ale nelze porovnat konkrétní naměřené hodnoty, které charakterizují tvar zaobleného ostří.

Při porovnání měřících metod v totožných místech VBD se lze domnívat ze získaných výsledků, že rozdíly v naměřených velikostech ostří jsou v úzké souvislosti s tvarem zaobleného ostří. Největší rozdíly v měřených velikostech zaobleného ostří byly zjištěny u vzorků vyrobených technologií otryskávání vodním paprskem, kde se hodnoty průměrně liší o 9 μm . U těchto vzorků byl tvar odkloněn od plochy čela. Nižší rozdílné hodnoty byly zjištěny u vzorků vyrobených technologií kartáčování, kde byly vyhodnoceny rozdílné tvary. Odklon tvaru zaobleného ostří byl vyhodnocen u vzorků vyrobených leštěním, kde byl rozdíl v naměřených hodnotách pouze 1 μm .

Poděkování

Touto cestou bych chtěla poděkovat společnosti Dormer Pramet, s.r.o., za umožnění vypracování mého zadání diplomové práce, především panu Ing. Ondřeji Vortelovi za jeho trpělivost a vstřícný přístup při společných konzultacích.

Dále bych ráda poděkovala panu Ing. Tomáši Zlámalovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, rady a připomínky vztahující se k diplomové práci. V poslední řadě bych chtěla poděkovat mé rodině, která mi byla po celou dobu studia oporou.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CORTÉS RODRÍGUEZ, Carlos Julio. *Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing*. 1. Kassel university: kassel university press, 2009, 189 s. ISBN 978-3-89958-713-5.
- [2] FULEMOVÁ, Jaroslava. *Studie problematiky zvyšování řezivosti nástroje při frézování feriticko-martenzitické oceli P91*. Plzeň, 2017. Disertace. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní.
- [3] MRKVICA, Ivan a Václav MORAVEC. Úpravy břitů a povrchů řezných nástrojů. *MM spektrum* [online]. 2007, 20. 06. 2007, (6), 58 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/upravy-britu-a-povrchu-reznych-nastroju.html>
- [4] SLANINKOVÁ, Aneta. *Analýza současného stavu technologií úprav ostří řezných nástrojů ze slinutého karbidu*. Ostrava, 2018. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [5] HRONEK, Ondřej. *Vliv kvality povrchu nástroje na trvanlivost*. Plzeň, 2017. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní.
- [6] KŘÍŽ, Antonín. Nejdůležitější oblast nástroje - ostří. *MM spektrum* [online]. 2014, (11), 72 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nejdulezitejsi-oblast-nastroje-ostri.html>
- [7] SMRČKOVÁ, Olga. *Technologie vlečného omílání a její vliv na vybrané vlastnosti integrity povrchu VBD*. Ostrava, 2017. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [8] BÁČOVÁ, Radka. Dokonalé povrchy řezných nástrojů. *MM spektrum* [online]. 2017, (5), 72 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/dokonale-povrchy-reznych-nastroju.html>
- [9] MALÝ, Josef. *Úprava a měření mikrogeometrie břitu nástroje*. Plzeň, 2012. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní.
- [10] DE VOS, Patrick. Mechanická zatížení a řezné geometrie při soustružnických operacích. *Řízení a údržba průmyslového podniku* [online]. 16. 04. 2015 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artikuly/artikul/article/mechanicka-zatizeni-a-rezne-geometrie-pri-soustruznickych-operacich/>

- [11] DENKENA, Berend, Jens KOEHLER a Michael REHE. Influence of the Honed Cutting Edge on Tool Wear and Surface Integrity in Slot Milling of 42CrMo4 Steel. *Procedia CIRP* [online]. 2012, 190-195 [cit. 2019-03-13]. ISSN 2212-8271. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827112000340>
- [12] HAAS, Ondřej. *Vliv zaoblení ostří na průběh opotřebení a trvanlivost řezného nástroje*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [13] ČESÁKOVÁ, Ivana a Miroslav ZETEK. DIAGNOSTIKA STAVU ŘEZNÉHO BŘITU PO MIKROÚPRAVÁCH. *Transfer inováci*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2011, 74-78. ISSN ISSN: 1337-7094.
- [14] Mahr MarSurf XCR 20 [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.mahr.com/cs/Produkty-a-slu%C5%BEby/V%C3%BDrobn%C3%AD-m%C4%9B%C5%99ic%C3%AD-technika/Produkty/MarSurf---P%C5%99%C3%ADstroje-na-m%C4%9B%C5%99en%C3%AD-kontury/MarSurf-XCR-20/>
- [15] InfiniteFocus Alicona [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.alicon.com/products/infinitefocus/>
- [16] FAIMAN, Tomáš. *Snímání a hodnocení drsnosti povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem*. Plzeň, 2015. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní.
- [17] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno: MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [18] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Marek SADÍLEK, Lenka PETŘOVSKÁ a Jana NOVÁKOVÁ. *NOVÉ SMĚRY V PROGRESIVNÍM OBRÁBĚNÍ* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2019-04-14]. ISBN 978-80-248-1505-3. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>
- [19] VORTEL, Ondřej. *Řízená úprava mikrogeometrie břitu a její vliv na trvanlivost nástroje*. Ostrava, 2016. Tézé disertační práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [20] OTEC Präzisionsfinish GmbH: *Vlečná omílací zařízení*. [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/produkty/procesni-media/>
- [21] MIROSLAV, Soural. *Studium vlivu drsnosti kovového povrchu na vlastnosti povrchu*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.

[22] PETELE, Jan. *Efektivní frézování feriticko-martenzitických ocelí vliv mikrogeometrie nástroje na řezný proces*. Ostrava, 2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní.

[23] NEZDRAŽILÍKOVÁ, Martina. *Metrologická konfigurace měřidla*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A - Naměřené hodnoty Alicona - InfiniteFocus G5, místo měření A

Příloha B - Naměřené hodnoty Alicona - InfiniteFocus G5, místo měření B

Příloha C - Naměřené hodnoty Mahr - MarSurf XCR 20, místo měření A

Příloha D - Naměřené hodnoty Mahr - MarSurf XCR 20, místo měření B